

Desenvolvimento de um sistema de medição de distâncias por focagem óptica

Bruno Miguel Oliveira Alves

Dissertação apresentada na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade
Nova de Lisboa para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Electrotécnica e de
Computadores

Orientadores: Professor Doutor José Manuel da Fonseca

Professor Doutor Pedro Vieira

Portugal, Lisboa - 2010

Agradecimentos

Ao longo do meu percurso académico e de investigação que conduziu à elaboração da presente dissertação, no Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores da Universidade Nova de Lisboa na secção de Sistemas Digitais e Percepcionais, fui influenciado por algumas pessoas que quero desde já prestar o meu enorme agradecimento.

Ao Professor Doutor Pedro Vieira e ao Professor Doutor José Manuel da Fonseca na qualidade de orientadores, agradeço a motivação, compreensão, o apoio prestado, disponibilidade para esclarecimento de dúvidas e ainda pela confiança.

Agradecer aos colegas da NGNS, Nuno Pinto, Manuela Mendes e Pedro Duque pela pronta disponibilidade para ajudar, esclarecimento de dúvidas e ainda todo o apoio prestado.

Também quero expressar o meu agradecimento aos meus colegas de curso Dantas, Borracha, Fernandes, Bruno Filipa, Jorge Tomar, Pedro Lopes, Gonçalo Nunes (Vegeta), Cabecinhas, Miguel Freitas, João de Proença, Márinho, Edgar, Madeira e Garrido, resumindo ao GANG do piso 2 do DEE. A eles o meu enorme OBRIGADO pelo companheirismo, amizade e por todos os bons momentos passados.

À minha namorada Vanessa por todo o apoio nos bons e nos maus momentos, e que sempre me motivou nos momentos mais difíceis, obrigado marada.

Por fim, guardo o maior agradecimento para a minha família (pai, mãe e irmão) pela minha formação académica, motivação, e apoio nos momentos mais difíceis. Obrigado por tudo.

Resumo

O Homem encontra-se sujeito a riscos e fenómenos naturais intensos que comprometem com frequência o equilíbrio entre o ambiente natural e social.

Em Portugal, os incêndios florestais representam as catástrofes mais graves devido à extensão de danos que causam e à forma periódica como decorrem anualmente, nos picos de calor do Verão.

Na presente dissertação foi desenvolvido um sistema constituído por uma câmara digital e um telescópio, que permite a medição da distância, por focagem óptica, de um posto de vigilância e uma coluna de fumo proveniente de um incêndio florestal. Este sistema tem como objectivo complementar um sistema de detecção precoce de incêndios florestais.

A determinação da distância entre uma torre de vigilância e uma coluna fumo resulta de um processo, onde é necessário uma coordenação entre a aquisição de imagens e a posição do motor de focagem do telescópio que se vai movendo ao longo do tempo. Desta forma obtem-se imagens com diferentes planos focais.

O sistema desenvolvido analisa todas as imagens captadas através de técnicas de tratamento digital de imagem, por forma a identificar automaticamente a imagem focada. O cálculo da distância é efectuado através do tempo de aquisição da imagem focada que representa uma determinada posição no motor do telescópio

Este sistema obteve uma eficácia bastante elevada nos testes efectuados.

Palavras-chave: focagem óptica, incêndios florestais, cálculo de distância.

Abstract

Man is subject to risks and intense natural phenomena that often undertake the balance between natural and social environment.

In Portugal, forest fires represent the most serious disasters due to the extent of damage that they cause.

In this essay was developed a system consisting of a digital camera and a telescope, allowing the measurement of the distance between a command post and a column of smoke from a forest fire through optics focusing,. This system aims to complement a system for early detection of forest fires.

The determination of this distance, results from a process where coordination is required between image acquisition and the position of the telescope's motor-focus that keeps moving over time. This way images with different focal plans, with minimum and maximum focusing optics, are captured.

The developed system analyzes all the captured images through techniques of digital image processing in order to automatically identify the focused image. The distance is calculated considering the time of acquisition of the focused image that represents a given position in the telescope drive.

This system achieved a very high efficiency in testing.

Keywords: *optical focus,, forest fires, distance determination.*

Símbolos e Notação

Simbologia.

N	Número de linhas de uma imagem
M	Número de colunhas de uma imagem

Notação.

BW	Preto e branco (<i>Black and White</i>)
DFT	Transformada de Fourier discreta (<i>Discret Fourier Transform</i>)
DLL	<i>Dynamic-link libray</i>
FFF	<i>Fire Forest Finder</i>
FPS	Imagem por segundo (<i>Frame per second</i>)
F3	<i>Fire Forest Finder</i>
GUI	Interface gráfico de utilizador (<i>Grafic User Interface</i>)
LADAR	<i>Laser Detection And Range</i>
LIDAR	<i>Light detection and Ranging</i>
RGB	Vermelho, verde e azul (<i>Red Green and Blue</i>)

Índice Geral

Agradecimentos.....	iii
Resumo.....	v
Abstract	vii
Símbolos e Notação	ix
Índice Geral.....	xi
Índice de Figuras	xv
Índice de Tabelas	xix
1 Introdução	1
1.1 Introdução	1
1.2 Enquadramento	2
1.3 Organização da dissertação	3
2 Estado da Arte.....	5
2.1 Sistemas de detecção de focagem automática.....	5
2.1.1 Sistemas de auto-focagem passiva.....	6
2.1.2 Sistemas de auto-focagem activa	11
2.2 Sistemas de medição de distâncias.....	11
2.2.1 Medidor de distância por ultra-som.	12
2.2.2 Telémetro óptico	13
2.2.3 Telémetro LIDAR.....	14
3 Conceitos Teóricos	17
3.1 Telescópio	17

3.2	Imagem Digital	19
3.3	Imagem em tons de cinzento (<i>Grayscale</i>)	20
3.4	Imagem RGB	20
3.5	Imagem RGB para imagem em tons de cinzento.....	21
3.6	Binarização e <i>threshold</i>	21
3.7	Variância.	22
3.8	Transformada de fourier discreta 2D.	22
3.8.1	Fast Fourier Transform.....	24
3.9	Filtro Laplaciano.....	25
4	Sistema Desenvolvido	27
4.1	Forest Fire Finder – FFF.....	27
4.2	Medidor de distâncias por focagem óptica	29
4.2.1	Requisitos do sistema	29
4.3	Medidor de distâncias por focagem óptica - sistema desenvolvido para simulações e testes.....	30
4.3.1	Solução desenvolvida	31
4.3.2	Hardware utilizado	32
4.3.3	Software utilizado.....	35
4.3.4	Requisitos mínimos do sistema	36
5	Implementação.....	37
5.1	Interface gráfica	38
5.2	Programação de Hardware.....	40
5.2.1	Motores Telescópio – Integração com Matlab	40
5.2.2	Motores de varrimento do telescópio – controlo.	41
5.2.3	Motor de focagem – controlo.	41

5.2.4	Câmara digital Ueye - Ligação.	42
5.2.5	Câmara digital Ueye – aquisição de imagens.	42
5.3	Algoritmo de detecção de imagem focada.	43
5.3.1	Algoritmo de detecção de imagem focada – por contagens de pontos brancos.	44
5.3.2	Algoritmo de detecção de imagem focada – por cálculo da variância em matrizes 7x7.	48
5.3.3	Algoritmo de detecção de imagem focada – conjugação dos algoritmos contagem de pontos brancos (5.3.1) e cálculo da variância em matrizes 7X7 (5.3.2)	51
5.3.4	Algoritmo de detecção de imagem focada – utilização da transformada de Fourier	53
5.4	Determinação da distância da coluna de fumo, em função da posição do plano de focado.	58
5.4.1	Método de calibração.	59
6	Resultados e Discussão	71
6.1	Testes simulados com chaminé fabril	72
6.1.1	Teste com algoritmo descrito na secção 5.3.3	73
6.1.2	Teste com algoritmo na secção 5.3.4 – Transformada de Fourier	73
7	Conclusões e Prespectivas Futuras	75
7.1	Conclusões	75
7.2	Prespectivas Futuras.....	77
	Bibliografia.....	79
	Anexos.....	81

Índice de Figuras

Figura 1.1 – Representação do sistema de funcionamento do FFF [22].....	3
Figura 2.1 – Esquema ilustrativo da focagem frontal: a) posição inicial da lente fora de focagem; b) posição da lente no ponto de focagem. [23]	7
Figura 2.2 - Esquema ilustrativo da focagem rear: a) posição inicial da lente fora de focagem. b) posição da lente no ponto de focagem. [23]	8
Figura 2.3 – Processo de focagem utilizando o sistema de detecção de contraste. a) posição inicial da lente com contraste mínimo; b) posição intermédia da posição de lente quase atingir o máximo de contraste; c) posição de focagem com máximo de contraste. [23]	9
Figura 2.4 – Processo de focagem; (a) imagem original; (b) a (e) imagens com diferentes planos focais [20].	10
Figura 2.75 – Exemplo do processo de medição do telémetro de coincidência [15]	14
Figura 3.1 – Esquema representativo do funcionamento do telescópio dióptrico [24]	18
Figura 3.2 – Esquema representativo do funcionamento do telescópio catóptrico – telescópio newtoniano [24]	18
Figura 3.3 – Esquema óptico do telescópio catadióptrico – Maksutov-Cassegrain. [24].....	19
Figura 3.4 – Esquema representativo de uma imagem digital [11]	20
Figura 3.5 – Figura que ilustra as três matrizes que compõem uma imagem RGB [10]	20
Figura 3.6 – (a) histograma com nível de <i>threshold</i> ; (b) imagem original; (c) imagem após o processo de binarização	22
Figura 4.21 – Sistema Forest Fire Finder – unidade de espectrometria e câmara digital [22].....	28
Figura 4.4 – Montagem experimental para testes com a chaminé fabril.	30
Figura 4.5 – Esquema do sistema medidor de distâncias por focagem óptica.....	31

Figura 4.6 – Câmara digital - uEye Camera UI-144 com suporte para telescópio.....	33
Figura 4.7 – Telescópio MEADE ETX-90 AT	34
Figura 5.1 – Interface gráfica do sistema desenvolvido	38
Figura 5.2 – Interface correspondente à classificação de imagem focada e determinação de distância.....	40
Figura 5.3 – Parte de controlo dos motores de varrimento horizontal e vertical do telescópio	41
Figura 5.4 – Diagrama de blocos que descreve o algoritmo da secção 5.3.1	44
Figura 5.5 – Conjunto de imagens tratadas com o algoritmo descrito em 5.3.1. (a) imagem original desfocada; (b) imagem original focada; (c); imagem em formato binário desfocada; (d) imagem em formato binário focada.....	45
Figura 5.6 – Gráficos representativos do algoritmo da secção 5.3.1. (a) Gráfico típico de detecção correcta da imagem focada; (b) Gráfico típico de detecção incorrecta da imagem focada.....	46
Figura 5.7 - Diagrama de blocos que descreve o algoritmo da secção 5.3.2.....	48
Figura 5.8 – Conjunto de nuv. 27 - (a) Gráfico com algoritmo utilizado na secção 5.3.1; (b) Gráfico com algoritmo utilizado m 5.3.2.....	49
Figura 5.9 – Fluxograma representativo do funcionamento do algoritmo da secção 5.3.3	51
Figura 5.10 – Filtros circulares. (a) Filtro circular de raio 2; (b) filtro circular de raio 10	54
Figura 5.11 – Imagem ilustrativa do espaço entre o parafuso de focagem e a base do telescópio. Cada posição do parafuso de focagem representa um tempode aquisição.	59
Figura 5.12 – Imagem do software Google Earth, que indica os <i>landmarks</i> que se utilizou para calibração do sistema.....	60
Figura 5.13 – Ilustração do software GOOGLE EARTH, ferramenta de medir distâncias em linha recta.....	61
Figura 5.14 – Gráfico com a recta de calibração do motor de focagem, para a velocidade rápida.....	64

Figura 5.15 - Gráfico com a recta de calibração do motor de focagem, para a velocidade lenta.	65
Figura 6.1 – Imagem da chaminé a 2500 metros utilizada para os testes.	72
Figura 0.1 – (1) Imagem identificada como focada pelo programa, [imagem nº 124]; (2) Imagem focada escolhida por mim, [imagem nº 121]	81
Figura 0.2 – Gráfico referente ao cálculo da imagem focagem, e respectivo índice. .	81
Figura 0.3 - Gráfico referente ao cálculo da imagem focagem, e com respectivo tempo de aquisição.....	82
Figura 0.4 - (1) Imagem identificada como focada pelo programa, [imagem nº 138]; (2) Imagem focada escolhida por mim, [imagem nº 136]	82
Figura 0.5 - Gráfico referente ao cálculo da imagem focagem, e respectivo índice..	82
Figura 0.6 - Gráfico referente ao cálculo da imagem focagem, e com respectivo tempo de aquisição.....	82
Figura 0.7 - 1) Imagem identificada como focada pelo programa, [imagem nº 125]; (2) Imagem focada escolhida por mim, [imagem nº 125]	82
Figura 0.8 - Gráfico referente ao cálculo da imagem focagem, e respectivo índice..	82
Figura 0.9 - Gráfico referente ao cálculo da imagem focagem, e com respectivo tempo de aquisição.....	82
Figura 0.10 – (1) Imagem identificada como focada pelo programa, [imagem nº 132]; (2) Imagem focada escolhida por mim, [imagem nº 128]	82
Figura 0.11 - Gráfico referente ao cálculo da imagem focagem, e respectivo índice	82
Figura 0.12 - Gráfico referente ao cálculo da imagem focagem, e com respectivo tempo de aquisição.....	82
Figura 0.13 – (1) Imagem identificada como focada pelo programa, [imagem nº 118]; (2) Imagem focada escolhida por mim, [imagem nº 118]	82
Figura 0.14 - Gráfico referente ao cálculo da imagem focagem, e respectivo índice	82
Figura 0.15 - Gráfico referente ao cálculo da imagem focagem, e com respectivo tempo de aquisição.....	82

Figura 0.16 – (1) Imagem identificada como focada pelo programa, [imagem nº 130]; (2) Imagem focada escolhida por mim, [imagem nº 128]	82
Figura 0.17 - Gráfico referente ao cálculo da imagem focagem, e respectivo índice	82
Figura 0.18 - Gráfico referente ao cálculo da imagem focagem, e com respectivo tempo de aquisição	82
Figura 0.19 – (1) Imagem identificada como focada pelo programa, [imagem nº 130]; (2) Imagem focada escolhida por mim, [imagem nº 130]	82
Figura 0.20 - Gráfico referente ao cálculo da imagem focagem, e respectivo índice	82
Figura 0.21 - Gráfico referente ao cálculo da imagem focagem, e com respectivo tempo de aquisição	82
Figura 0.22 – (1) Imagem identificada como focada pelo programa, [imagem nº 117]; (2) Imagem focada escolhida por mim, [imagem nº 117]	82
Figura 0.23 - Gráfico referente ao cálculo da imagem focagem, e respectivo índice	82
Figura 0.24 - Gráfico referente ao cálculo da imagem focagem, e com respectivo tempo de aquisição	82
Figura 0.25 – (1) Imagem identificada como focada pelo programa, [imagem nº 132]; (2) Imagem focada escolhida por mim, [imagem nº 132]	82
Figura 0.26 - Gráfico referente ao cálculo da imagem focagem, e respectivo índice	82
Figura 0.27 - Gráfico referente ao cálculo da imagem focagem, e com respectivo tempo de aquisição	82
Figura 0.28 – (1) Imagem identificada como focada pelo programa, [imagem nº 135]; (2) Imagem focada escolhida por mim, [imagem nº 131]	82
Figura 0.29 - Gráfico referente ao cálculo da imagem focagem, e respectivo índice	82
Figura 0.30 - Gráfico referente ao cálculo da imagem focagem, e com respectivo tempo de aquisição	82

Índice de Tabelas

Tabela 5.1 - Tabela com os resultados do conjunto de dados. As linhas de cor vermelha são os casos em que o algoritmo classificou incorrectamente a imagem focada.....	47
Tabela 5.2 - Tabela com os resultados do conjunto de dados. As linhas de cor vermelha são os casos em que o algoritmo classificou incorrectamente, a imagem focada.....	50
Tabela 5.3 - Tabela com os resultados do conjunto de dados. As linhas de cor vermelha são os casos em que o algoritmo 5.3.1 não classificou correctamente a imagem focada. As linhas de cor verde são os casos em que houve uma correcção por parte do algoritmo na secção 5.3.2	52
Tabela 5.4 – Tabela com os resultados da classificação automática de imagem focada através do algoritmo baseado na transformada de Fourier	57
Tabela 5.5 – Coordenadas dos locais indicados na figura 5.14	60
Tabela 5.6 - Valores dos tempos de aquisição de imagem focada para cada amostra com a velocidade do motor rápida e lenta, para um alvo a 335 metros.....	62
Tabela 5.7 – Valores dos tempos de aquisição de imagem focada para cada amostra com a velocidade do motor rápida e lenta, para um alvo a 100 metros.....	62
Tabela 5.8 - Valores dos tempos de aquisição de imagem focada para cada amostra com a velocidade do motor rápida e lenta, para um alvo a 4430 metros.....	63
Tabela 5.9 - Valores dos tempos de aquisição de imagem focada para cada amostra com a velocidade do motor rápida e lenta, para um alvo a 15000 metros.....	63
Tabela 5.10 – Medições efectuadas para determinar a distância entre a base do telescópio e o parafuso, para diferentes pontos de referência.....	66
Tabela 5.11 – Comparação com os valores estimados pela curva de calibração com o motor de focagem em velocidade rápida e os valores obtidos para determinação da curva de calibração.	67

Tabela 5.12 - Comparação com os valores estimados pela curva de calibração com o motor de focagem em velocidade lenta e os valores obtidos para determinação da curva de calibração.	68
Tabela 6.1 – Resultados da determinação da distância com o algoritmo da secção 5.3.3	73
Tabela 6.2: Estudo efectuado com o algoritmo descrito na secção 5.3.4. Determinação da imagem focada e respectivas distâncias.	74

1 Introdução

1.1 Introdução

O Homem encontra-se sujeito a riscos e fenómenos naturais intensos que comprometem com frequência o equilíbrio entre o ambiente natural e social.

Os danos a nível ambiental têm um maior impacto nesta matéria, pois a destruição vários hectares de floresta, muitos dos quais zonas protegidas e habitat de espécies em vias de extinção e o aumento do efeito de estufa aliado à emissão de grandes quantidades de CO₂ provocada por um incêndio, são factores de risco para a população.

Anualmente são gastos importantes recursos na requalificação das zonas que sofreram incêndios, resultando num grande investimento a nível económico e social, com resultados apenas a longo prazo. Como tal, os planos de prevenção de incêndios são mais e cada vez mais diversificados sendo que, uma das melhores opções de prevenção da destruição da floresta passa pela limpeza e vigia das matas. Uma detecção precoce do incêndio permite uma rápida resposta no seu combate, sendo certamente a alternativa ideal para a minimização do impacto desta catástrofe.

No âmbito da prevenção dos incêndios podemos contar com a vigilância humana associada aos sistemas automáticos e semiautomáticos já existentes, baseados em análise química e processamento de imagem.

Pretende-se com o presente trabalho desenvolver um sistema de medição de distância por focagem óptica, com o objectivo de complementar um sistema de detecção precoce de incêndios florestais.

Quando um incêndio é desencadeado pretende-se que a sua localização seja detectada o mais rapidamente possível. O actual sistema de detecção precoce de

incêndios determina o azimute do fumo resultante do incêndio. Para complementar esse sistema, surge a necessidade de determinar também a distância em linha recta até à torre de vigilância.

No entanto, para que a localização do incêndio florestal seja exacta, é necessário que haja um evento que faça a triangulação com mais que uma torre.

1.2 Enquadramento

Actualmente pode-se contar com um sistema inovador de detecção de incêndios florestais o Forest Fire Finder (FFF ou F3) desenvolvido pela NGNS-Ingenious Solutions. Este sistema é totalmente autónomo e dispensa a observação humana oferecendo uma alternativa eficiente, rápida e eficaz no combate aos incêndios florestais.

O Forest Fire Finder não só determina a posição específica de um incêndio como também recolhe imagens e dados atmosféricos, dando assim elementos importantes para o combate ao incêndio de forma eficaz e adequada a cada situação. [17]-[22].

Este sistema tem como princípio de funcionamento a análise química da atmosfera através de um sistema de espectrometria óptica. Desta forma é capaz de detectar fumo de um incêndio florestal até uma distância de 15 km e de definir a necessidade de emissão de um alarme de fogo, tudo isto de uma forma totalmente automática [17]-[22].

Ao justificar-se a emissão de um alarme de fogo, este sistema inovador, informa o posto de controlo da localização do fogo, enviando os dados atmosféricos e fornecendo uma fotografia da detecção. A partir do posto de controlo, é emitido o alerta para as unidades de bombeiros que estejam mais próximas da localização geográfica do fogo, que devidamente equipados com dispositivos de orientação podem chegar rapidamente ao local de incêndio. Na figura 1.1 pode observar-se o funcionamento geral do FFF.

Desta forma, através deste sistema, o combate ao fogo é conseguido de uma forma muito mais rápida e eficaz.



Figura 1.1 – Representação do sistema de funcionamento do FFF [22]

Com esta dissertação pretende-se elaborar um sistema de medição de distância por focagem óptica que complemente o FFF, de forma a otimizar os resultados no combate aos incêndios florestais. Neste momento o sistema FFF só permite determinar a localização exacta do incêndio se múltiplos sistemas estiverem instalados de forma a haver uma triangulação.

O principal objectivo deste projecto é determinar a distância, em linha recta, entre a torre de vigilância e uma coluna de fumo proveniente de um incêndio. Esta informação torna-se uma mais-valia para a exacta localização geográfica do incêndio permitindo o seu combate com maior eficácia e rapidez. O sistema desenvolvido no projecto funciona em paralelo com o FFF fazendo o mesmo varrimento de área que o FFF.

O sistema proposto na presente dissertação é constituído por um telescópio, uma câmara digital, motores de varrimento e computador.

1.3 Organização da dissertação

A dissertação encontra-se organizada em 6 capítulos, que se resumem seguidamente:

No capítulo 2 estado da arte é feita uma breve descrição dos vários métodos e técnicas utilizadas em sistemas semelhantes.

No capítulo 3 conceitos teóricos são descritos alguns conceitos da área de processamento digital de imagem que têm aplicação nos capítulos seguintes, permitindo uma maior compreensão dos conceitos técnicos utilizados ao longo desta dissertação.

O capítulo 4 sistema desenvolvido descreve todo o sistema desenvolvido, características e material utilizado.

O capítulo 5 implementação apresenta em detalhe a solução desenvolvida para as ferramentas de processamento digital de imagem, controlo dos motores do telescópio e gestão de memória das imagens adquiridas.

No capítulo 6 resultados e discussão são apresentados os resultados obtidos e os testes efectuados na sequência no desenvolvimento do projecto.

O capítulo 7 conclusões e perspectivas futuras apresenta as conclusões da presente dissertação.

2 Estado da Arte

Desenvolver um sistema que permita fazer a medição de distâncias através de focagem óptica, é uma tarefa que se pode dividir em duas partes: a detecção automática de focagem óptica num conjunto de imagens com diferentes planos ópticos e a determinação da distância dado um plano focal.

Existem soluções no mercado que permitem ajustar a focagem óptica de lentes de forma automática. Por outro lado, existem sistemas capazes de determinar distâncias a objectos sólidos a alguns metros de distância. Mas cada um dos sistemas são independentes e mesmo que fosse possível a sua integração, não corresponderiam às necessidades demonstradas na presente dissertação, pois não têm alcance suficiente para determinar as distâncias exigir.

Não foi encontrado na pesquisa bibliografia nenhum sistema que permita efectuar o cálculo de distâncias por focagem óptica, nomeadamente a determinação da distância de um incêndio, pela sua coluna de fumo. Assim, este projecto constitui uma solução inovadora relativamente às soluções existentes no mercado.

De seguida faz-se uma breve descrição de alguns dos métodos já utilizados na detecção automática de focagem e determinação de distâncias de objectos sólidos.

2.1 Sistemas de detecção de focagem automática

A detecção automática de imagens focadas, é uma ferramenta que permite ajustar a posição da lente da câmara de forma a focar um determinado objecto quando se prime parcialmente o botão de disparo.

Esta funcionalidade de auto-focar permite que os utilizadores capturem imagens limpas no momento oportuno.

Os mecanismos de auto-focagem em câmaras podem ser de dois tipos: auto-focagem activa e auto-focagem passiva.

2.1.1 Sistemas de auto-focagem passiva

Este tipo de sistemas ajustam automaticamente a posição da lente da câmara, quer por meio de sensores quer por meio do cálculo do contraste. Assim, sistemas de auto-focagem passiva podem utilizar sistemas de detecção de fase ou sistemas de detecção de contraste.

Sistemas de detecção de fase

Este tipo de sistemas são utilizados maioritariamente em câmaras single-lens reflex, que possuem um módulo específico de auto-focagem. São constituídos por um separador de lente que permite produzir duas imagens a partir da imagem original do objecto capturado através da lente e por um sensor de linha que tem como funcionalidade detectar a distância de desfocagem entre duas imagens [14]-[23].

O princípio de funcionamento desta tecnologia é o seguinte: se o plano focal se encontra à frente da lente da câmara relativamente à superfície da imagem (focagem frontal), a distância entre duas imagens será pequena em relação ao valor óptimo, como se pode verificar na figura 2.1.

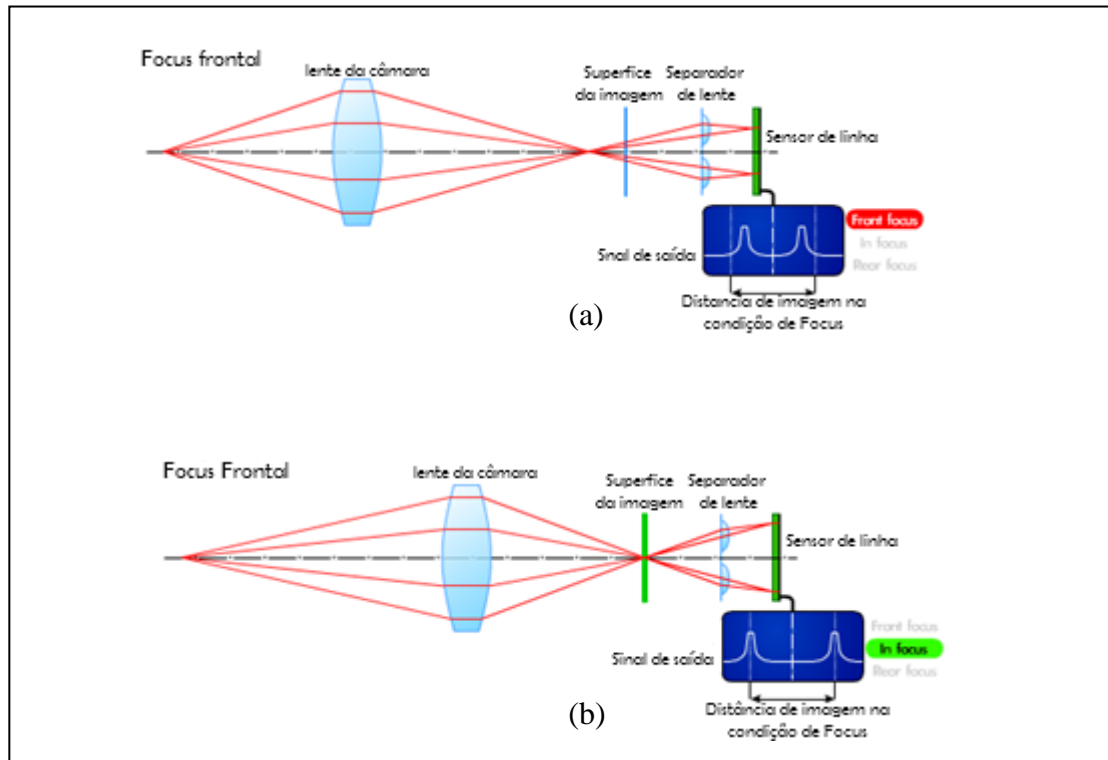


Figura 2.1 – Esquema ilustrativo da focagem frontal: a) posição inicial da lente fora de focagem; b) posição da lente no ponto de focagem. [23]

Por outro lado se o ponto focal está atrás do objecto (focus rear), a distância entre as duas imagens será maior que o valor óptimo, como se pode verificar na figura 2.2.

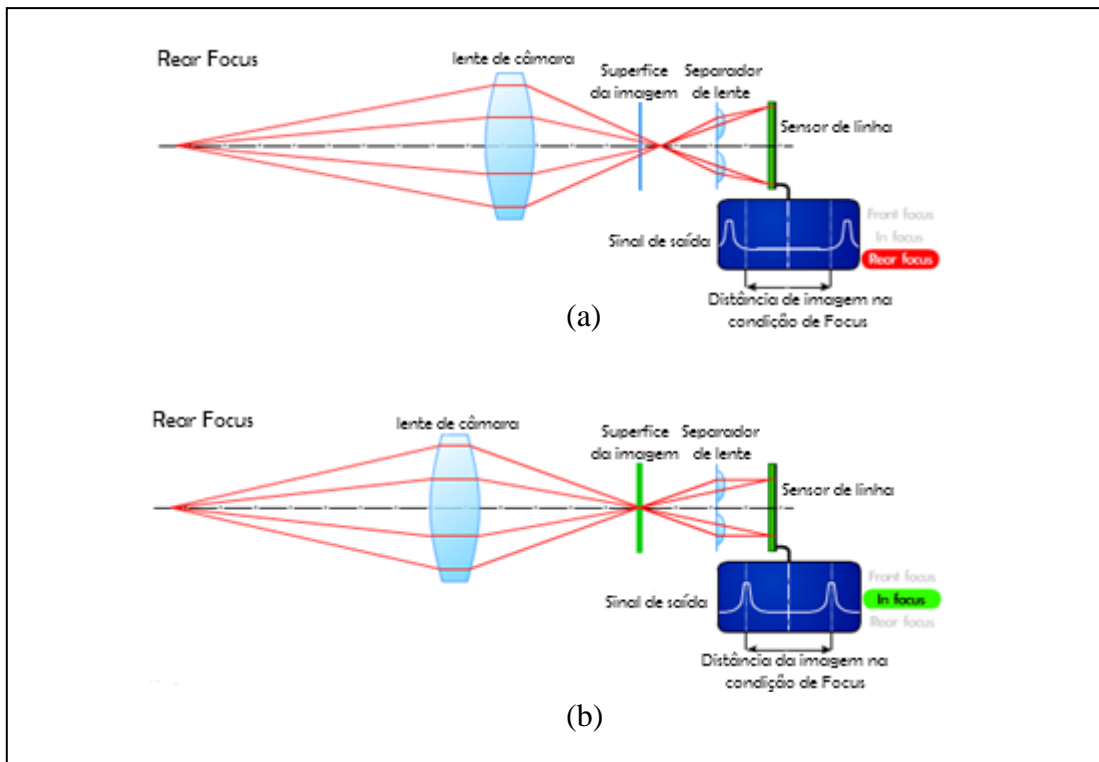


Figura 2.2 - Esquema ilustrativo da focagem rear: a) posição inicial da lente fora de focagem. b) posição da lente no ponto de focagem. [23]

Por outras palavras, se a distância entre duas imagens é pequena, então corresponde uma condição de distância de focagem. Desta forma o sistema de focagem automática move a lente para um ponto focal que está à frente do objecto. No entanto se a distância entre duas imagens é maior que o valor de referência, o sistema determina que o ponto focal se encontra para atrás do objecto [23].

Com estas premissas o sistema de auto-focagem consegue processar os dados de forma instantânea, permitindo determinar o ponto focal com eficiência e rapidez e move lente da câmara para a direcção pretendida.

Sistemas de detecção de contraste

Este tipo de sistemas são baseados no princípio que “imagem focada = maior contraste”, esta funcionalidade de auto-focagem é utilizada nas câmaras digitais compactas. Esta tecnologia analisa uma porção da informação da imagem obtida pelo

sensor de imagem e por movimentação da lente, procura a posição da lente onde o contraste de imagem é máximo, figura 2.3

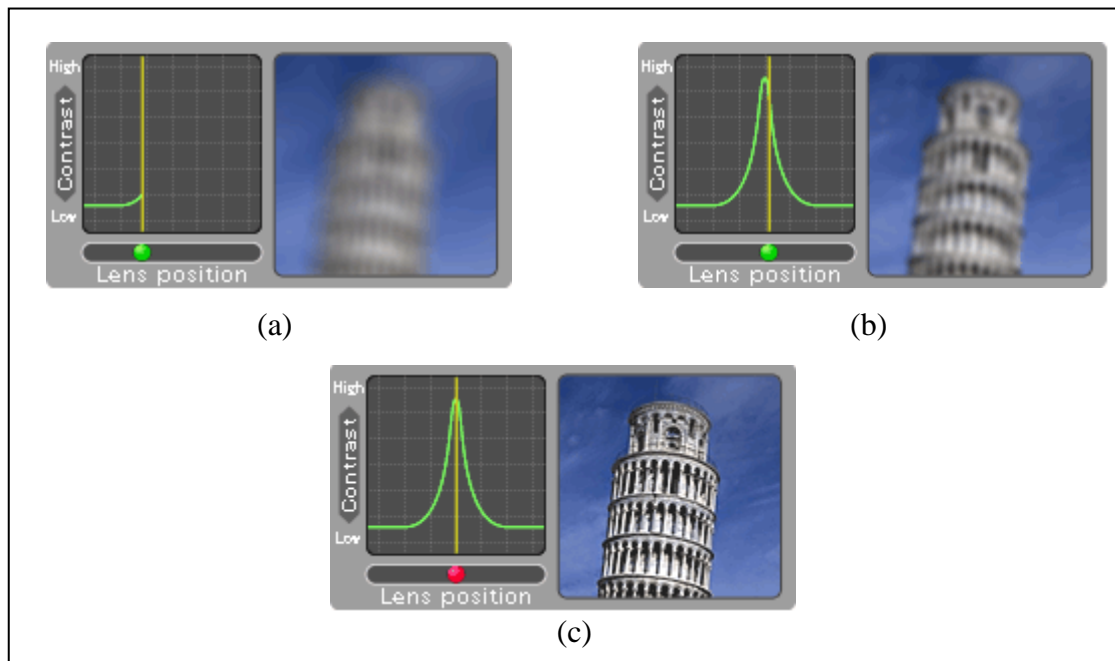


Figura 2.3 – Processo de focagem utilizando o sistema de detecção de contraste. a) posição inicial da lente com contraste mínimo; b) posição intermédia da posição de lente quase atingir o máximo de contraste; c) posição de focagem com máximo de contraste. [23]

O sistema numa primeira instância, não sabe antes de mover a lente se o ponto focal se encontra à frente ou a atrás objecto. Desta forma, vai calculando o valor de contraste e ao mesmo tempo movendo a lente, conseguindo desta forma determinar o ponto de focagem baseado na zona de mudança [20]-[23].

Este método demora mais tempo até alcançar a imagem focada, comparando com os sistemas de detecção de fase, mas tem a vantagem que o próprio sensor pode ser usado como o módulo de focagem automática.

Vejamos o caso prático, referente à figura 2.4. A lente encontra-se na sua posição inicial ou seja, fora de focagem. Durante o processo de focagem, as porções extraídas das imagens podem ir de (b) a (e), em que, como se pode verificar na imagem a última imagem está totalmente focada.

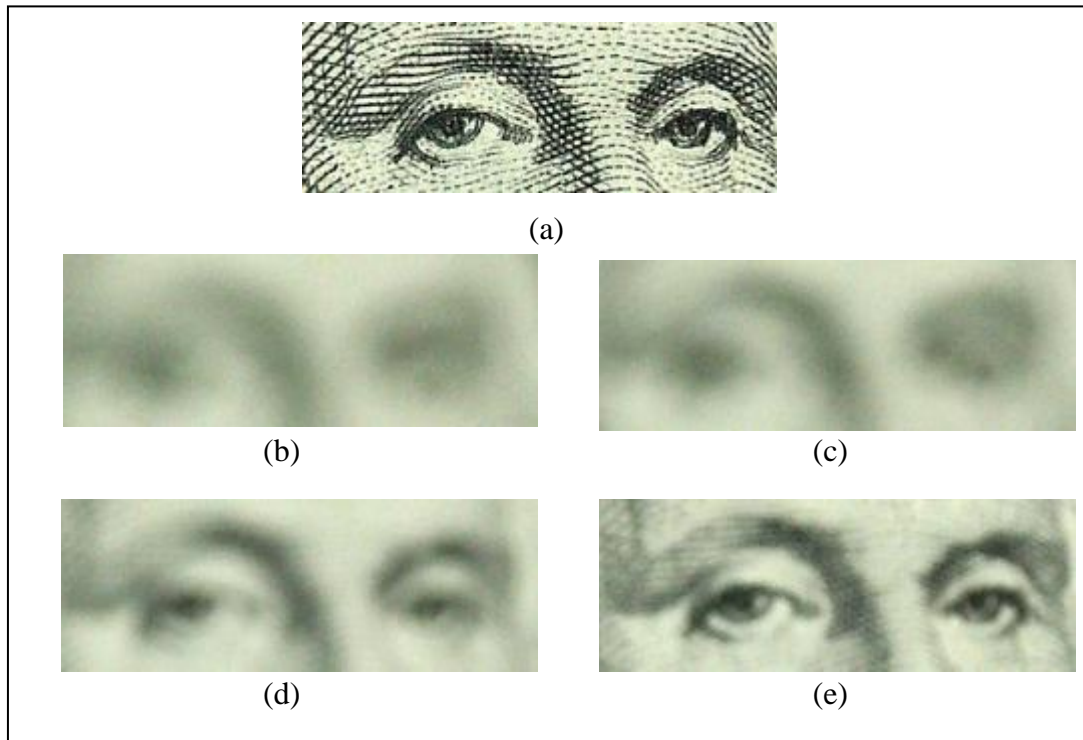


Figura 2.4 – Processo de focagem; (a) imagem original; (b) a (e) imagens com diferentes planos focais [20].

Este sistema na imagem (b) “vê” uma imagem turva, com um contraste muito baixo. À medida que a lente se move para o ponto focal o nível de contraste aumenta e por conseguinte o nível as imagens vão ficando menos turvas. Desta forma, os contornos ficam mais escuros e as cores mais brilhantes até chegar à imagem representada em (e) [20].

Os dois sistemas descritos acima de auto-focagem passiva, não são indicados para o desenvolvimento da presente tese porque no caso da detecção por contraste é bastante difícil conseguir capturar imagens de fumo com elevado contraste, pois o *background*¹ neste tipo de imagens é igual à coloração actual da atmosfera, pelo que os contornos da coluna de fumo não são evidenciados. Quanto à detecção por fase, é um método que envolve uma componente mecânica e óptica bastante complexa, que desta forma se afasta do âmbito do material utilizado na presente dissertação.

Background ¹ – considera-se como o fundo de uma imagem.

2.1.2 Sistemas de auto-focagem activa

Os sistemas de auto-focagem activa utilizam um feixe na gama do visível ou do infravermelho para ajudar os sensores de auto-focagem a detectar o objecto em estudo. Ao emitir o feixe, este sistema guarda o tempo de viagem do feixe, desta forma, consegue-se medir a distância do objecto até ao dispositivo óptico e consequentemente ajustar o sistema para a focagem correcta.

Este sistema é bastante útil quando o objecto não está suficientemente iluminado ou não tem contraste suficiente para a auto-focagem.

A presente tecnologia também não serviu como base na presente dissertação porque uma coluna de fumo pode estar a vários quilómetros de distância pelo que não se consegue atingir o alvo difuso com um feixe óptico.

2.2 Sistemas de medição de distâncias

O desenvolvimento de técnicas de medida por processos ópticos foram fortemente estimuladas na segunda metade do século XX, com o aparecimento dos lasers e os consequentes dispositivos electro-ópticos de aplicação.

A telemetria laser do tipo radar insere-se num âmbito de telemetria militar portátil em que é obrigatório realizar a medida sem se ser “visto”. Desta forma, a medida da distância pretendida tem de ser conseguida à custa da emissão de um único impulso de elevada potência e curta duração, uma vez que em geral os alvos propostos não são cooperativos e encontram-se a grandes distâncias.

Os radares de telemetria laser (LADAR – Laser Detection And Range e LIDAR – Light Detection And Ranging) são uma extensão dos radares convencionais de microondas para comprimentos de onda mais curtos, cobrindo uma gama óptica desde o ultravioleta até ao infravermelho passando pelo visível. Da mesma forma que o radar de microondas, os radares a laser podem medir simultaneamente distância, velocidade, reflectividade e azimuth. São perfeitamente apropriados para medidas de precisão, úteis na classificação e reconhecimento de alvos.

Actualmente, há três tipos de fontes de laser de estado sólido que são usadas para aplicações em radares de telemetria: lasers de CO₂, lasers de estado sólido e díodos laser. Os lasers de CO₂ são altamente coerentes, e eficientes com comprimentos de onda não agressivos para os olhos (eye-safe wavelength).

Paralelamente ao desenvolvimento dos emissores de luz laser, também os sensores ópticos têm merecido a atenção dos fabricantes, tanto na concepção de novas estruturas físicas. Alguns fabricantes de componentes de optoelectrónica como a Siemens, Hamatsu, Judson, etc, têm desenvolvido fotodíodos de avalanche de elevado desempenho, com aplicações sofisticadas, relatadas em diversos trabalhos [2]-[7]-[13].

Consoante a distância do objecto que se pretende medir, pode-se utilizar diferentes tecnologias, como por exemplo, medidores de distâncias através do ultra-som, telémetros ópticos e telémetros LIDAR. Este capítulo é dedicado à explicação destas tecnologias.

2.2.1 Medidor de distância por ultra-som.

O medidor de ultra-som é um instrumento que funciona com base em ondas sonoras, com uma capacidade de medir curtas distâncias desde 46 cm até 22 m.

Este medidor é constituído por dois módulos: o emissor e o receptor de sinais de som. Pode-se trabalhar com este tipo de medidor para obter medições de distâncias, desde que a área de visão ou de percurso da onda não encontre obstáculos sólidos, pois essas superfícies devolverão a onda ao medidor.

As leituras produzidas com exactidão aparecem no visor do aparelho em formato digital. Os aparelhos medidores de distâncias por ultra-som são frequentemente utilizados para efectuar medidas de curta distância, como é o caso, na construção civil onde esta técnica é uma ferramenta muito útil, pois permite calcular áreas e volumes, na robótica onde é muito utilizado em robôs móveis sendo utilizado como sensor para desviar de obstáculos e finalmente indispensável na indústria automóvel para o fabrico de sensores de estacionamento [1]-[5].

Este tipo de tecnologia não cobre distância suficiente para cumprir as especificações da presente dissertação, até porque o fumo não é um alvo sólido portanto não haveria o retorno da onda.

2.2.2 Telémetro óptico

Este tipo de instrumento óptico permite medir a distância entre o observador e um ponto normalmente inacessível. A leitura da distância é feita directamente no aparelho e normalmente aparece numa escala no próprio instrumento. Os telémetros são construídos com dois prismas colocados transversalmente ao objecto de observação. Em muitas máquinas fotográficas estes telémetros funcionam para aclarar a imagem do objecto a ser fotografado [5].

Os telémetros conseguem medir distâncias entre 35 a 500 metros, (figura 2.6). Normalmente nos telémetros de precisão os erros de medição podem variar consoante a distância do objecto a medir. Como exemplo, em 50 m o erro corresponde a aproximadamente ± 1 m, em 150 m deve-se aceitar até ± 6 m, e em 300 m ± 24 m.

Existe um outro tipo de telémetro que permite determinar distâncias e ângulos com grande precisão até 500 metros, os telémetros de coincidência. O processo deste tipo de aparelho é o mais utilizado, o alvo/objecto aparece, dividido horizontalmente, na objectiva do telémetro em duas partes iguais separadas por uma linha. As duas metades da imagem são produzidas por cada extremo do instrumento e podem ser levadas à coincidência por intermédio de um botão de comando (Figura 2.7 (a) e (b)) [15].

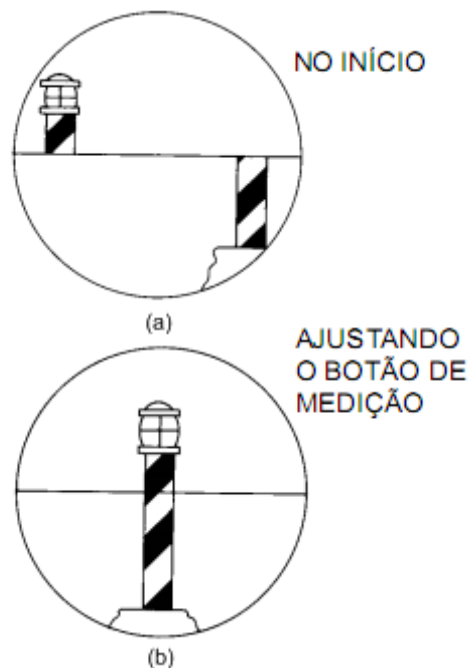


Figura 2.55 – Exemplo do processo de medição do telémetro de coincidência [15]

Quando as duas metades da imagem do objecto visado são levadas à coincidência, lê-se a distância ao objecto numa escala de distâncias, vista normalmente através da objectiva.

Os telémetros necessitam geralmente de ser calibrados, comparando-se a distância indicada pelo instrumento com uma distância de valor conhecido. São normalmente utilizados na náutica para medir médias distâncias [15].

Este tipo de sistema não pode ser utilizado na presente dissertação pois tem o alcance limitado que não cumpre com as especificações do sistema proposto.

2.2.3 Telémetro LIDAR

Este tipo de telémetro utiliza feixe laser para determinar a distância a que o observador se encontra do objecto. Os dispositivos mais comuns enviam um pulso laser em direcção do objecto e mede-se o tempo que o pulso demora a chegar ao

objecto e o tempo que faz o percurso inverso quando é reflectida pelo objecto. A esta sequência chama-se o princípio do tempo de voo [2]-[7]-[21]-[25].

Esta técnica não é apropriada para medições muito rigorosas. A precisão do instrumento é determinada pelo aumento ou a diminuição do tempo de pulso de laser e da velocidade do receptor. A precisão pode ser melhorada se o telémetro emitir um pulso de laser com energia elevada e consequentemente terá de possuir um detector muito rápido, de modo a poder registar alterações de milímetros. O efeito de Doppler² permite avaliar se o objecto está em movimento e a que velocidade. O telémetro LIDAR pode alcançar distâncias até 25 km.

Este tipo de aparelho é usualmente utilizado em aplicações militares para determinar distâncias, definição de percursos e espionagem, (figura 2.8 (a)), em alguns desportos como o golfe, a caça e o tiro ao arco, (figura 2.8 (b)), e em controlo e monitorização de estradas na medição de distâncias e controlo de velocidade, (figura 2.8 (c))

A tecnologia descrita não pode ser utilizada neste projecto, uma vez que, ao interceptar as colunas de fumo, o feixe óptico não será reflectido, como tal irá dispersar-se.

Efeito Doppler² - descrito pela primeira vez em 1842 por Christian Johann Doppler consiste na variação da frequência recebida por um detector de sons quando o emissor e o detector se movem um em relação ao outro.

3 Conceitos Teóricos

Para uma melhor compreensão de todo o trabalho desenvolvido, este capítulo descreve os conceitos utilizados no processamento digital de imagem, ao mesmo tempo também se explica alguns conceitos referentes a componentes ópticos.

3.1 Telescópio

O telescópio é um instrumento que aumenta o diâmetro angular dos objectos dando a sensação que estão mais próximos e maiores. Pode assim concluir-se que a função principal do telescópio é ampliar a imagem de um objecto longínquo [12]-[18].

Inicialmente o telescópio era apenas utilizado para aplicações militares. Em 1609 Galileu conseguiu melhorar e construir vários instrumentos deste tipo para se dedicar a descobertas astronómicas [12].

Os telescópios podem ser classificados em três tipos:

- Telescópios Dióptricos – trabalham com a refacção da luz. Este tipo de instrumento é constituído por uma lente que capta a luz dos objectos e forma a imagem no foco (ver figura 3.1). Para aumentar a imagem existe uma segunda lente chamada ocular, que funciona basicamente como uma lupa [12]-[24].

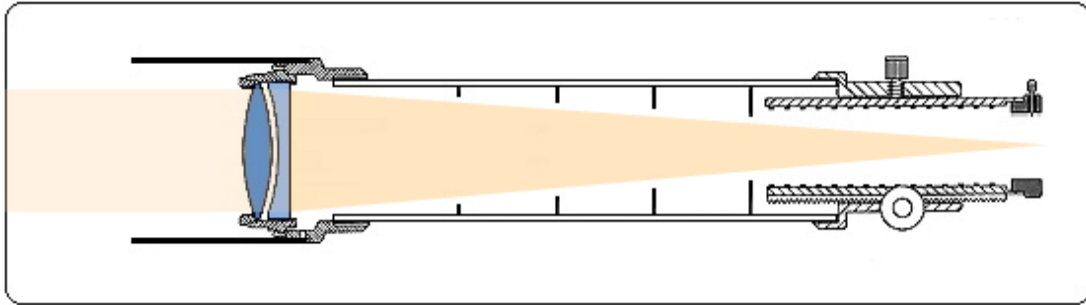


Figura 3.1 – Esquema representativo do funcionamento do telescópio dióptrico [24]

- Telescópios Catóptricos – este tipo de telescópio trabalha com a reflexão da luz. É constituído por um espelho com superfície côncava (espelho principal), tem como função a reflexão da luz do objecto. Existe também um espelho de menores dimensões (espelho secundário) que serve para inverter a imagem dando origem à imagem final (ver figura 3.2). [12]- [24]

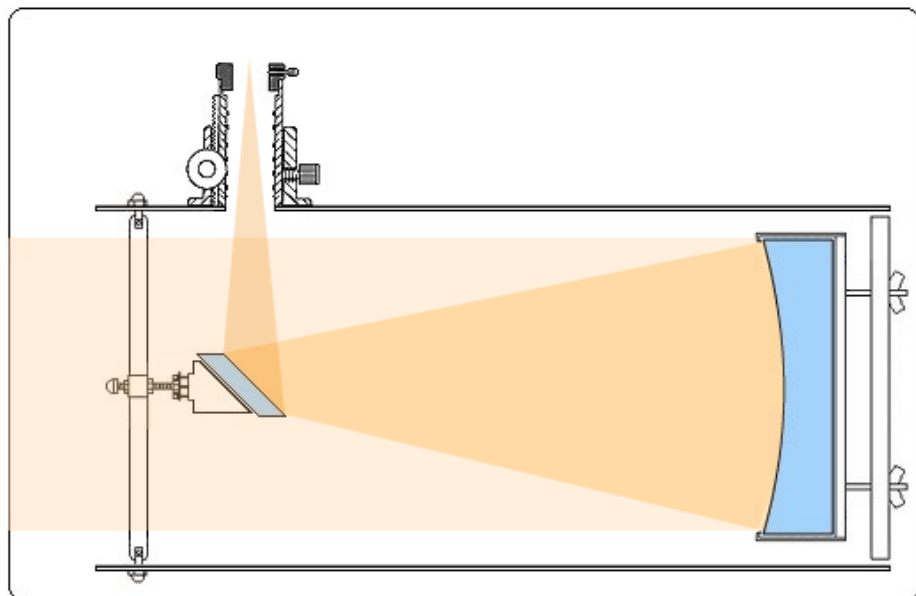


Figura 3.2 – Esquema representativo do funcionamento do telescópio catóptrico – telescópio newtoniano [24]

- Telescópios Catadióptricos – este tipo de telescópio é constituído por elementos reflectores e refractores. A refração ocorre quando a luz passa por um componente de vidro colocado na extremidade do tubo do telescópio. No entanto, a reflexão é feita com espelhos primários e

secundários. Os telescópios catadióptricos têm três subtipos de telescópio: telescópio Schmidt, telescópio Maksutov e telescópio Maksutov-Cassegrain (ver figura 3.3). Na presente dissertação o telescópio utilizado foi do tipo Maksutov-Cassegrain. [12]-[24]. Tem como vantagem as suas reduzidas dimensões e como desvantagem a elevada sensibilidade quando se efectua a focagem,

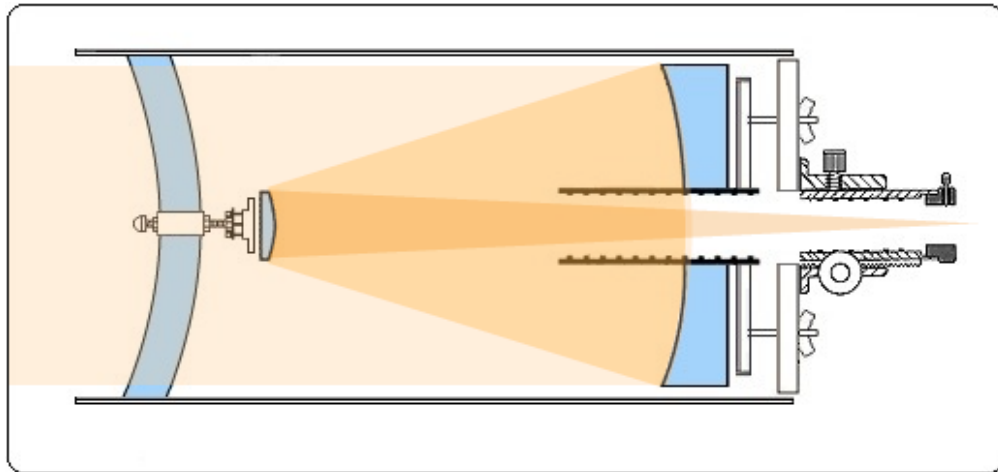


Figura 3.3 – Esquema óptico do telescópio catadióptico – Maksutov-Cassegrain. [24]

3.2 Imagem Digital

Uma imagem pode ser definida por uma matriz de duas dimensões de valores finitos. A matriz está dividida em N linhas por M colunas. A resolução de uma imagem digital é definida pelo número de linhas (N) e de colunas (M), no formato $N \times M$ pixéis. A intersecção entre as linhas e colunas da matriz é denominada por pixéis. Cada pixel contém um valor que define a intensidade da imagem [10]-[11].

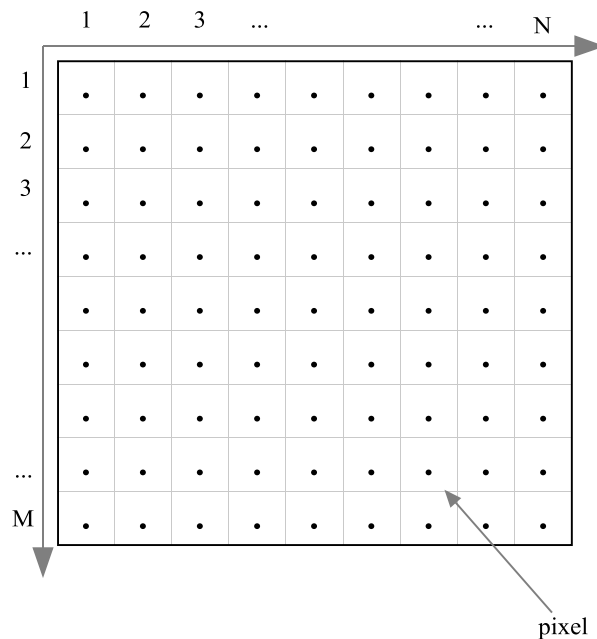


Figura 3.4 – Esquema representativo de uma imagem digital [11]

3.3 Imagem em tons de cinzento (*Grayscale*)

É a imagem cujos pixéis que a constituem apresentam valores no intervalo entre 0 a 255 em que o valor zero correspondente a um pixel de cor preta e o valor 255 corresponde a um pixel de cor branca [9]-[10]-[11].

3.4 Imagem RGB

A imagem é decomposta em três matrizes ($N \times M \times 3$), que correspondem às cores vermelho (**R**ed), verde (**G**reen) e azul (**B**lue), estabelecendo a localização espacial específica, como se pode verificar na figura 3.5 [10]-[11].

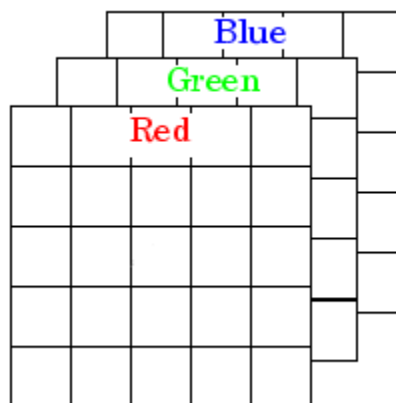


Figura 3.5 – Figura que ilustra as três matrizes que compõem uma imagem RGB [10]

A soma das três cores representa a imagem final. A recuperação e reprodução de uma cor específica para variados dispositivos é conseguida através dos valores numéricos que traduzem os atributos dessa cor [9]-[10].

O grau de detalhe possível numa imagem está relacionado com a resolução, ou seja, quanto maior for a resolução maior será o detalhe da imagem. Por outro lado, quanto maior for o intervalo de valores de cada pixel maior será a qualidade de imagem, pois permite que cada pixel tenha uma maior quantidade de cores. [16].

3.5 Imagem RGB para imagem em tons de cinzento

Uma conversão de uma imagem RGB para níveis de cinzento é feita através da ponderação das três cores. Importa ainda salientar que o olho humano é mais sensível à cor verde, portanto, esta componente vai ter maior ponderação do que as restantes cores como se pode verificar na equação [11]:

$$I = 0,30R + 0,59G + 0,11B$$

Assim aplica-se esta equação a todos os pixéis de uma imagem RGB e obtém-se a intensidade em tons de cinzento.

3.6 Binarização e *threshold*.

A binarização é a conversão de uma imagem em tons de cinzento para uma imagem com apenas dois tons (preto e branco), ou seja, uma representação binária, utilizando um nível de *threshold*. [10]

Entende-se por *threshold* o nível de intensidade utilizado na binarização de uma imagem podendo este valor ser calculado automaticamente ou ser definido manualmente pelo utilizador. Após definido o valor de transformação todos os pixéis que tenham um valor inferior ao *threshold* tomam o valor “0”, equivalente à cor preta, e os restantes tomam o valor “1”, equivalente à cor branca, como se pode verificar na figura 3.6.

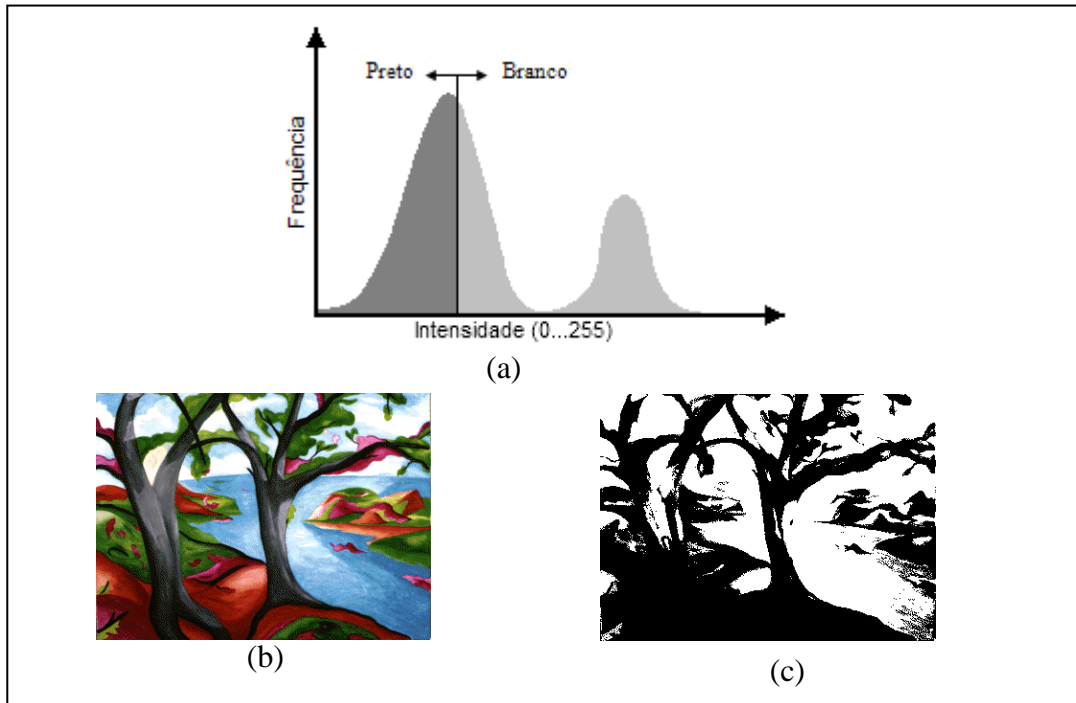


Figura 3.6 – (a) histograma com nível de *threshold*; (b) imagem original; (c) imagem após o processo de binarização

3.7 Variância.

A variância é a medida de dispersão estatística de uma variável que contabiliza a diferença entre o valor esperado e o valor obtido. [16]

Considere-se $\mu = E(X)$, o valor esperado da variável X , pelo que a variância σ_X^2 , é dada pela seguinte equação:

$$\sigma_X^2 = E[(X - \mu)^2]$$

3.8 Transformada de fourier discreta 2D.

Qualquer função que descreva um processo físico pode ser analisada com base na teoria de Fourier, em que, transformada desse processo pode ser obtida analiticamente. Contudo, também se pode utilizar esta transformada quando apenas

se tem um conjunto de pontos ou uma pequena curva gerada por computador. A informação pode ser digitalizada, ou seja, associam-se números a pontos numa curva, distribuídos adequadamente, permitindo determinar o conteúdo, em termos de frequências temporais ou espaciais, do conjunto de dados utilizado. [11]

Sendo $f(x,y)$, para $x = 0, 1, 2, \dots, M-1$ e $y = 0, 1, 2, \dots, N-1$, definem uma imagem $M \times N$. A transformada discreta de fourier de f , é denotada por $F(u,v)$, dada pela equação:

$$F(u, v) = \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) e^{-j2\pi\left(\frac{ux}{M} + \frac{vy}{N}\right)}$$

Para $u = 0, 1, 2, \dots, M-1$ e $v = 0, 1, 2, \dots, N-1$. Pode-se desenvolver a exponencial em senos e cosenos com as variáveis u e v determinando as suas frequências. O domínio da frequência é simplesmente o sistema coordenado por $F(u,v)$ com u e v como as variáveis de frequência. A região rectangular definida por $M \times N$, onde $u = 0, 1, 2, \dots, M-1$ e $v = 0, 1, 2, \dots, N-1$ é muitas vezes referenciada por frequência rectangular, tendo a mesma dimensão que a imagem de entrada.

O inverso da transformada de fourier discreta é dada por:

$$F(x, y) = \frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(u, v) e^{j2\pi\left(\frac{ux}{M} + \frac{vy}{N}\right)}$$

Para $x = 0, 1, 2, \dots, M-1$ e $y = 0, 1, 2, \dots, N-1$. Pode-se obter $f(x,y)$, quando é dado $F(u,v)$ utilizando a transformada inversa de Fourier. Os valores $F(u,v)$ de expansão nesta equação são por vezes referenciados por coeficientes de Fourier.

Em algumas formulações do DFT³ o termo $1/MN$ é colocado em frente da transformada e noutras é usado em frente do inverso. Para ser coerente com a implementação do MATLAB da transformada de Fourier assume-se que o termo está na frente do inverso, tal como pode ser verificado na equação seguinte. A ordem, como indicada no MATLAB, inicia-se em 1, ao contrário de 0. $F(1, 1)$ e $f(1, 1)$ no

DFT³ – Discret Fourier Transform (*Transformada de Fourier Discreta*)

MATLAB correspondem às quantidades matemáticas $F(0,0)$ e $f(0,0)$ na transformada e no seu inverso [15].

O valor da transformada na origem do domínio da frequência [ex. $F(0,0)$] é chamado a componente contínua da transformada de fourier. Não é difícil de mostrar que $F(0,0)$ é igual a MN vezes o valor da média $f(x, y)$.

Se $f(x, y)$ for real, esta transformada é geralmente complexa. O principal método de analisar visualmente a transformada é calcular o seu *spectrum* [ex: a magnitude de $F(u, v)$] e mostrá-lo numa imagem. Ao permitir que $R(u, v)$ e $I(u, v)$ representem os componentes reais e imaginários de $F(u, v)$, o espectro de fourier é definido como:

$$|F(u, v)| = \sqrt{R^2(u, v) + I^2(u, v)}$$

O ângulo fase da transformada é definido como:

$$\phi(u, v) = \tan^{-1} \left[\frac{I(u, v)}{R(u, v)} \right]$$

As duas funções precedentes podem ser utilizadas para representar $F(u, v)$:

$$F(u, v) = |F(u, v)|e^{j\phi(u, v)}$$

O espectro de potência é definido pelo quadrado da magnitude.

$$P(u, v) = |F(u, v)|^2 = R^2(u, v) + I^2(u, v)$$

3.8.1 Fast Fourier Transform

No desenvolvimento da presente dissertação foi utilizado um algoritmo que permite calcular a transformada de fourier de uma forma mais simples e rápida, a fast fourier transform (FFT), segundo a bibliografia consultada este método reduz o grau de complexidade de $2N^2$ para $2N \log_2 N$. [11].

3.9 Filtro Laplaciano

Este tipo de filtro aplicado a uma imagem $f(x,y)$ é representado pela seguinte expressão,

$\nabla^2 f(x, y)$, onde é definido por: [11]

$$\nabla^2 f(x, y) = \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial y^2}$$

Fazendo a segunda derivada desta equação, obtêm-se o seguinte:

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} = f(x + 1, y) + f(x - 1, y) - 2f(x, y)$$

e

$$\frac{\partial^2 f}{\partial y^2} = f(x, y + 1) + f(x, y - 1) - 2f(x, y)$$

Logo, substituindo na equação inicial,

$$\nabla^2 f = [f(x + 1, y) + f(x - 1, y) + f(x, y + 1) + f(x, y - 1)] - 4f(x, y)$$

Esta expressão pode ser aplicada a todos os pontos de (x,y) na imagem por convolução da imagem com a seguinte máscara:

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Na presente dissertação a segunda derivada é bastante importante pois permite obter uma melhor definição das imagens, ou seja, permite realçar os contornos e texturas das nuvens.

4 Sistema Desenvolvido

O sistema desenvolvido tem como objectivo fazer parte integrante de um sistema já comercializado, o FFF. Este sistema, como já foi explicado anteriormente, permite a detecção precoce de incêndios florestais diurnos. Na presente dissertação desenvolveu-se um sistema cujo objectivo é determinar a distância entre a torre de vigilância e a coluna de fumo, através de focagem óptica.

4.1 Forest Fire Finder – FFF

O seu princípio de funcionamento é bastante simples: o FFF efectua continuamente análises químicas à atmosfera através de um sistema de espectrometria óptica, tendo o alcance máximo de 15 km. Após efectuar cada análise química apresenta um espectro com a composição química dessa amostra. Desde modo o sistema é capaz de decidir de forma automática se há ou não motivo para lançar um alarme de existência de fogo. Caso haja um alarme de fogo, o FFF fornece informações adicionais como por exemplo, a fotografia da detecção, dados atmosféricos e a localização.

O sistema consiste numa unidade de varrimento composta por um sensor óptico de grande alcance e uma câmara óptica de elevada resolução. Esta unidade tem como características poder realizar movimento horizontal de 360° e vertical de 90°. Também tem incluído sensores atmosféricos permitindo saber os dados da temperatura, pressão atmosférica, velocidade e direcção do vento, humidade e precipitação.

O FFF deve ser colocado numa torre de vigilância, cuja altura deverá ser ligeiramente superior à da copa das árvores de modo a permitir a detecção mais rápida. Assim, basta que o fumo ultrapasse acima da copa das árvores, e o incêndio será detectado pouco minutos depois da ignição da chama.



Figura 4.11 – Sistema Forest Fire Finder – unidade de espectrometria e câmara digital [22]

O sistema de varrimento óptico é constituído por duas partes, uma unidade de espectrometria e uma câmara digital de alta resolução. A unidade de espectrometria é composta por um telescópio MEADE ETX 90 que apenas recolhe a luz, sendo esta transmitida por fibra óptica para o espectrómetro, AvaSpec-2048 (marca Avantes), que mede o espectro da luz. O espectro é enviado para o computador onde é feita uma análise química da atmosfera. A câmara digital é da marca Lumenera, modelo LE175, com CCD CMOS de 1.3 megapixéis.

O conjunto destes dispositivos é controlado por um sistema inteligente de monitorização e controlo, que verifica permanentemente se o sistema está funcional e envia alertas aos responsáveis de manutenção caso haja alguma avaria. Este sistema também é constituído por um computador industrial, sendo este responsável pela recolha dos sinais ópticos provenientes do espectrómetro, dos sensores atmosféricos e de toda a informação captada pela câmara digital.

4.2 Medidor de distâncias por focagem óptica

O medidor de distâncias por focagem óptica é uma ferramenta que complementa o FFF. Este sistema é constituído por um telescópio catadióptrico, Maksutov-Cassegrain e por uma câmara digital que é acoplada na ocular do telescópio. O medidor será instalado acima da *housing da câmara de alta resolução* do FFF, permitindo desta forma realizar os mesmos movimentos de varrimento de forma síncrona.

Assim, quando o FFF desencadear um alarme de incêndio o medidor de distância já se encontra alinhado com a coluna de fumo e inicia-se a aquisição imagens com diferentes planos de focagem a 10 fps⁴, guardando sempre o tempo de aquisição. Após a conclusão deste processo, é iniciado o algoritmo que irá seleccionar a imagem focada automaticamente e indicará ao operador a que distância se encontra a coluna de fumo.

A imagem seleccionada como a imagem focada pelo algoritmo terá um determinado plano focal que corresponderá a uma distância física entre a torre de vigilância e a coluna de fumo. Por exemplo, uma imagem de coluna de fumo proveniente de um incêndio a 250 metros terá um plano focal diferente que uma imagem de uma coluna de fumo a 2500 metros. Desta forma pode-se afirmar que as imagens com diferentes planos focais terão diferentes tempos de aquisição, podendo-se determinar a distância entre o telescópio e a coluna de fumo.

4.2.1 Requisitos do sistema

O sistema proposto assenta apenas num software de processamento de imagem, sendo integrado posteriormente num sistema completo de software e hardware. O software desenvolvido é compilado numa DLL, sendo esta executada pelo software de controlo de todo o sistema.

fps ⁴ – frame per second (imagens por segundo)

O software permite a aquisição de imagens em diferentes planos de focagem. Cada imagem é armazenada numa directoria predefinida e processada individualmente, de forma a detectar a imagem focada. De seguida é feito o cálculo de distância e essa informação é enviada ao operador.

4.3 Medidor de distâncias por focagem óptica - sistema desenvolvido para simulações e testes.

Por impossibilidade de instalar o sistema descrito na secção 4.2 no FFF, surgiu a necessidade de criar uma forma para que fosse possível realizar testes em condições simuladas. Foi desenvolvido um sistema completamente autónomo capaz de direccionar o telescópio remotamente para a zona de incêndio e proceder à aquisição de imagens com diferentes planos de focagem.

A aquisição de imagens de colunas de fumo teve duas fases distintas: numa primeira fase utilizou-se a câmara disponível no sistema FFF (Lumenera, modelo LE175) e fez-se os primeiros testes de aquisição de imagens com diferentes planos focais mas de forma manual com imagens contendo nuvens. Numa segunda fase integrou-se a câmara Ueye no telescópio e desta forma conseguiu fazer-se a aquisição de imagens de forma automática de uma coluna de fumo proveniente de uma chaminé fabril, como se pode observar na figura 4.5



Figura 4.2 – Montagem experimental para testes com a chaminé fabril.

A implementação deste sistema é totalmente baseada na solução apresentada na secção 4.2

4.3.1 Solução desenvolvida

Esta secção descreve a arquitectura do sistema desenvolvido.

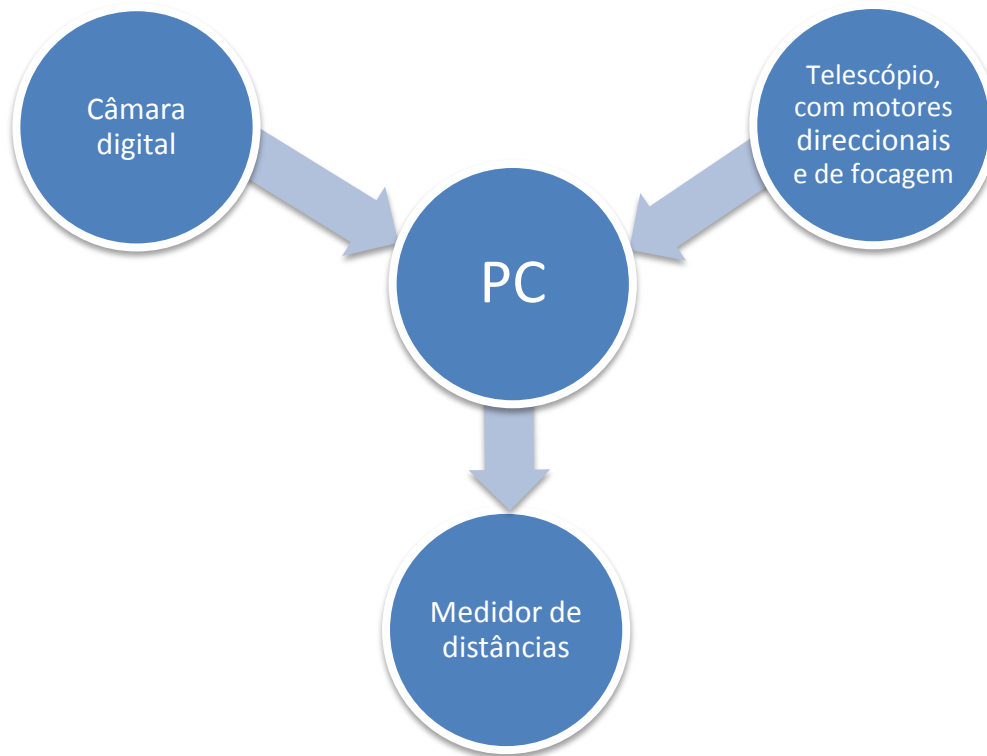


Figura 4.3 – Esquema do sistema medidor de distâncias por focagem óptica

Este sistema é constituído por duas unidades: a unidade de direcção do telescópio e a unidade de medição de distâncias.

- A unidade de direcção do telescópio é constituída por um tripé que sustenta toda estrutura, e por motores de movimento horizontal que efectuem o movimento de 360° e por motores de varrimento vertical com movimento de -45° a 45°.
- A unidade de medição de distância é composta por uma câmara digital de imagem e por um motor de focagem que permite rodar o parafuso de focagem do telescópio, de forma a conseguir obter os diferentes planos de focagem.

Para controlar a unidade de direcção do telescópio e a unidade de varrimento foi necessário desenvolver software em MATLAB que permite estabelecer a ligação entre o hardware e o controlo dos diferentes dispositivos.

Subjacente à programação de hardware também se desenvolveram todos os algoritmos de detecção de imagem focada e armazenamento de imagens com o MATLAB. Desta forma, houve a necessidade de criar uma GUI que permita estabelecer ligação e controlo com o hardware e ao mesmo tempo utilizar os algoritmos desenvolvidos.

4.3.2 Hardware utilizado

O sistema desenvolvido resulta da integração de alguns componentes e tecnologias. Seguidamente apresenta-se uma descrição sucinta de cada um deles.

Câmara digital

É um dos elementos fundamentais para o funcionamento do sistema, pois permite capturar imagens com diferentes planos de focagem óptica provenientes do telescópio.

A câmara escolhida foi a uEye Camera UI-144, da Imaging Development systems GmbH. Esta câmara utiliza um sensor CMOS de grandes dimensões (1/1.8”), permitindo a captura de imagens 1280×1024 pixéis de resolução. De entre as suas características, destaca-se a capacidade de captura de até 17 fps. No presente caso, por limitação do MATLAB, só se consegue adquirir imagens a 10 fps no formato grayscale.



Figura 4.4 – Câmera digital - uEye Camera UI-144 com suporte para telescópio

Telescópio

O telescópio é também um dos elementos fundamentais, senão o mais importante neste sistema. É através do telescópio que se obtêm os vários planos de focagem óptica, permitindo observar alvos difusos (coluna de fumo) ou alvos sólidos a diferentes distâncias.

O MEADE ETX-90AT é o telescópio utilizado na presente dissertação, que é extremamente versátil podendo ser utilizado tanto para astronomia como para observação terrestre (paisagens, montanhas e animais), obtendo imagens de alta resolução. Este telescópio é do tipo catadióptrico – Maksutov-Cassegrain e constituído por:

- Tubo óptico: é o principal componente óptico pois recolhe a luz de objectos distantes.
- Parafuso de focagem: move o espelho primário do telescópio de forma atingir a imagem focada. Neste tipo de telescópio podem-se focar objectos desde 3,50 metros até ao infinito. Na presente dissertação considera-se que o alcance máximo do telescópio é de 15 quilómetros.
- Painel de controlo de computador: Permite a comunicação entre o computador e os motores de varrimento horizontal e vertical do telescópio. O Autostar handbox, serve de controlador dos motores de

varrimento vertical e horizontal sendo a comunicação entre o controlador e o computador é feita através da porta RS232.

- Motor de focagem óptica: é um motor eléctrico DC que é acoplado ao parafuso de focagem do telescópio. Para controlar o motor remotamente liga-se este ao painel de controlo do computador. Este motor tem como desvantagem o facto de não permitir que seja obtido o número de voltas.



Figura 4.5 – Telescópio MEADE ETX-90 AT

Tripé

Destina-se a suportar toda a estrutura do equipamento, permitindo manter estável o telescópio de modo a obter imagens sem perturbações vibrações significativas.

4.3.3 Software utilizado

Foi proposto que todo o desenvolvimento da presente dissertação fosse elaborado em MATLAB. Este é um software que contém uma linguagem de programação de alto nível que integra análise numérica, cálculo com matrizes, processamento de sinais e construção de gráficos, permitindo ainda aquisição de dados por hardware, como é definido na documentação que acompanha o software de instalação.

Apresenta uma interface gráfica de fácil utilização que pretende ser intuitiva para os utilizadores, e que permite resolver problemas e criar soluções através de notação matemática, cujo elemento básico de informação é uma matriz que não requer dimensionamento.

Uma vantagem subjacente deste software é permitir resolver muitos problemas numéricos conexos num espaço de tempo reduzido, que caso fossem abordados em linguagens como o Java ou C levariam mais tempo a implementar.

O MATLAB dispõe de diversas extensões denominadas *toolboxes*, que permitem aos seus utilizadores aprender e aplicar tecnologias especializadas. Estas *toolboxes* são compostas por colecções de funções desenvolvidas em MATLAB, sendo denominadas por ficheiros “M”. Na presente dissertação foram utilizadas algumas *toolboxes* que permitiram desenvolver todo o sistema descrito: *Image Acquisition Toolbox*, *Image Processing Tollbox*, *Instrument Control Tollbox* e *MATLAB Creating Graphical User Interfaces*.

A *toolbox* de processamento de imagem teve uma importância especial no desenvolvimento do algoritmo de detecção de imagem focada, pois oferece uma vasta colecção de métodos e ferramentas para processamento, análise, desenvolvimento e visualização de imagens que permitem, por exemplo, restaurar imagens degradadas, valorizar as imagens para uma melhor inteligibilidade, extrair características e analisar formas e texturas, entre outros.

Por outro lado a criação de GUI's foi o elo de ligação entre as ferramentas de tratamento digital de imagem, o controlo e a ligação dos motores de varrimento e focagem e também da câmara digital.

4.3.4 Requisitos mínimos do sistema

- Windows XP
- MATLAB 7.00.19920 (R14)
- MATLAB Image Processing toolbox
- MATLAB Image Acquisition Toolbox
- MATLAB Instrument Control Tollbox
- MATLAB Creating Graphical User Interfaces

5 Implementação

Nesta secção apresenta-se uma descrição pormenorizada do sistema desenvolvido para o medidor de distâncias por focagem óptica utilizado nas simulações e testes efectuados.

O projecto desenvolvido tem como base a aquisição de imagens com diferentes planos de focagem, de uma coluna de fumo de incêndio. Essas imagens são submetidas a um algoritmo de processamento de imagem permitindo desta forma retirar características que identifiquem a imagem com maior contraste, ou seja, a imagem mais focada.

Ao mesmo tempo que a imagem é adquirida, guarda-se o tempo de cada imagem, para que numa segunda fase se consiga determinar em que plano focal se encontra a imagem focada correspondente à coluna de fumo.

Estes dois processos são controlados por uma interface de testes desenvolvida para este efeito. Esta aplicação também controla os motores de varrimento horizontal e vertical do telescópio, faz a aquisição de imagens em diferentes planos de focagem, guarda num vector os tempos da aquisição das imagens e guarda-as no disco da máquina.

O algoritmo de detecção da imagem focada teve duas fases distintas: numa primeira fase utilizou-se como conjunto de teste imagens de nuvens com a câmara do sistema FFF, digital Lumenera, modelo LE175, sem a utilização do telescópio, de modo a simular uma coluna de fumo proveniente de um incêndio. Esta solução foi improvisada para se conseguir criar um conjunto de imagens de teste, de forma, a experimentar o algoritmo de detecção de imagem focada. Como se sabe, a aquisição de uma imagem que englobe um edifício é totalmente diferente de uma imagem que

inclua uma forma difusa, como é o caso do fumo ou de uma nuvem. Numa segunda fase utilizou-se a câmara uEye Camera UI-144, pois com esta câmara conseguiu-se fazer o acoplamento ao telescópio na zona da ocular. O suporte do telescópio possui um motor que permite deslocar de forma automática o plano focal. Desta forma é possível obter imagens com os diferentes planos focais com a mesma periodicidade.

5.1 Interface gráfica

A interface gráfica desenvolvida tem como principal função ser o elo de ligação entre a comunicação e controlo do hardware e toda a estrutura de algoritmo de detecção automática de imagem focada e cálculo de distância do incêndio.

Como se pode verificar na figura 5.1, a GUI foi pensada e estruturada de modo a que fosse perceptível a qualquer utilizador, mesmo que não tenha muita experiência em trabalhar com um computador.

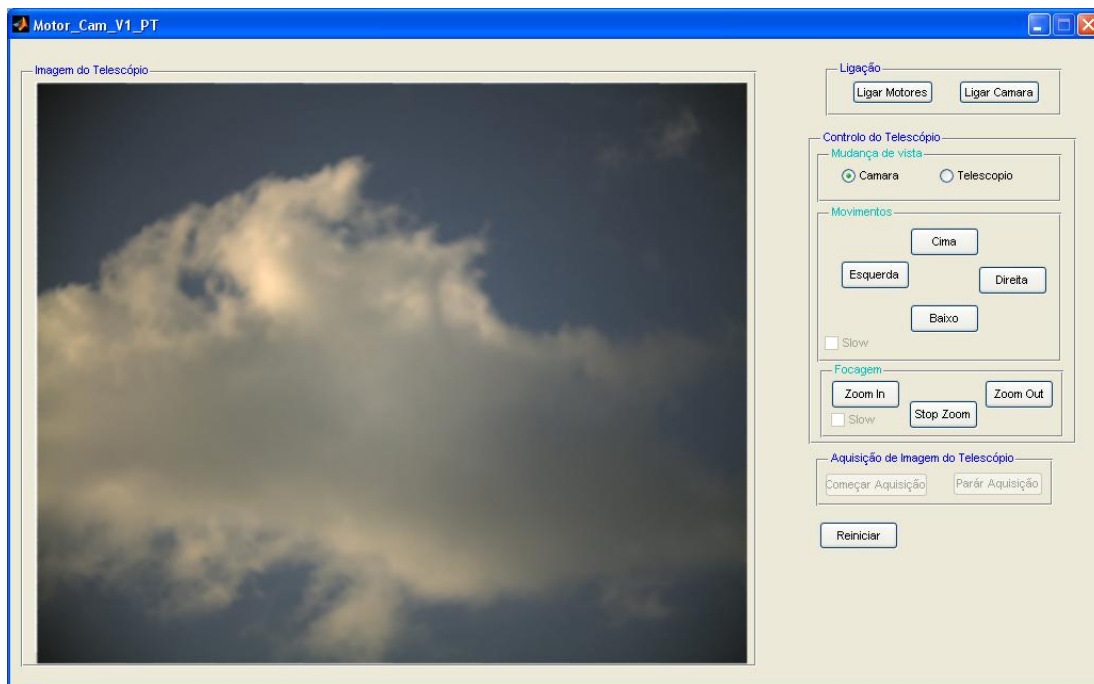


Figura 5.1 – Interface gráfica do sistema desenvolvido

Na presente dissertação a GUI desenvolvida engloba duas janelas. A primeira janela é referente à aquisição de imagens permitindo orientar a posição do telescópio, definir a velocidade dos motores, etc. A segunda janela é referente à detecção automática da imagem focada, determinação da distância e visualização das imagens referentes ao incêndio (figura 5.2). A detecção automática da imagem focada é feita apenas depois de todas as imagens adquiridas pelo sistema.

Quando o programa é iniciado abre-se a GUI de aquisição de imagem, figura 5.1. Esta interface tem bastantes funcionalidades:

- Estabelecer ligação entre o computador e os motores de varrimento horizontal e vertical e focagem;
- Estabelecer ligação entre o computador e a câmara digital;
- Controlar os motores de varrimento e focagem, quanto à sua posição e velocidade (rápida ou lenta);
- Controlar a câmara digital, (eg. capturar imagens num determinado timing);
- Iniciar a aquisição de imagens com diferentes planos de focagem;
- Reiniciar a posição do motor de focagem;
- Definir a directoria em que se pretende guardar as imagens com os diferentes planos de focagem

Após a aquisição de imagem passa-se à interface referente à detecção de imagem focada e cálculo da distância entre o sistema e a coluna de fumo. Esta GUI tem as seguintes funcionalidades:

- Verificação de imagem focada de forma automática (sem alterar os parâmetros do algoritmo) e manual (alterando parâmetros do algoritmo);
- Cálculo automático da distância em linha recta entre o sistema e a coluna de fumo;
- Visualização das imagens em estudo;
- Visualização do rácio de focagem de todas as imagens em estudo.

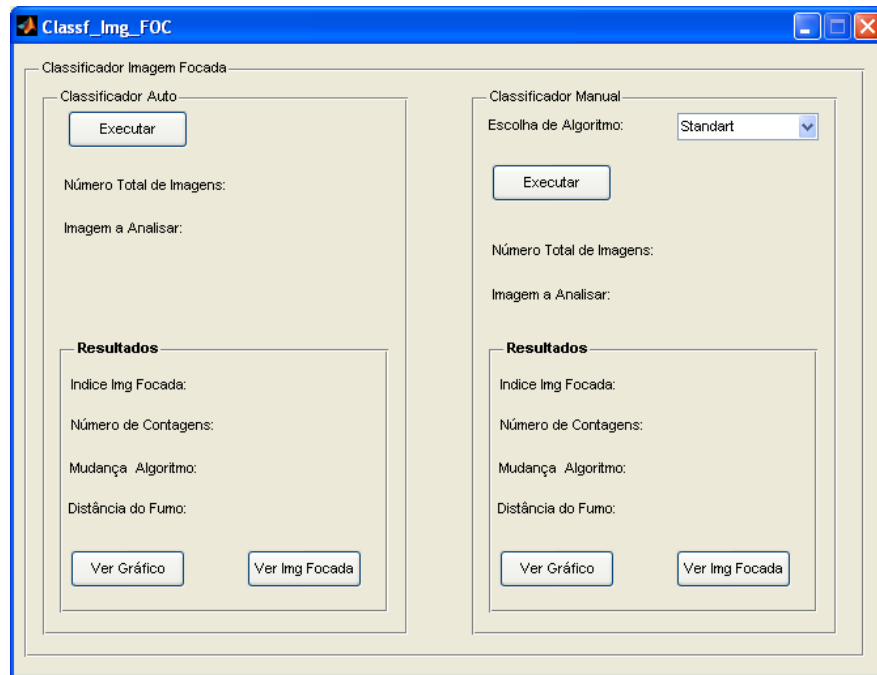


Figura 5.2 – Interface correspondente à classificação de imagem focada e determinação de distância

5.2 Programação de Hardware

O MATLAB permite estabelecer ligação com vários aparelhos através das portas RS232 e USB, como é o caso dos motores de direcção do telescópio e câmara digital respectivamente.

5.2.1 Motores Telescópio – Integração com Matlab

A ligação dos motores do telescópio de varrimento e de focagem entre o computador e a base de controlo do telescópio é feita através da porta RS232.

O MATLAB permite ligar e controlar dispositivos através desta porta, sendo para isso necessário reservar uma porta. Neste caso, a ligação é estabelecida quando se prime o botão *Start Engines* da interface desenvolvida. Caso a ligação não seja estabelecida aparece uma mensagem de erro ao operador.

5.2.2 Motores de varrimento do telescópio – controlo.

O controlo dos motores de varrimento é efectuado no menu *Movement* da interface gráfica. A base de controlo do telescópio já se encontra munida de um controlador e interpretador de instruções, permitindo desta forma enviar comandos pré-definidos pelo fabricante e fazer mover o telescópio.

O operador tem as seguintes opções para mover o dispositivo: para cima, para baixo, para a esquerda e para a direita, podendo fazer combinações com o varrimento horizontal e vertical permitindo, assim efectuar varrimentos diagonais. Para fazer o telescópio mover basta clicar numa destas opções, como se pode verificar na figura 5.3.

Os motores têm duas velocidades: rápida e lenta. Quando a interface inicia todos os motores estão iniciados pela velocidade rápida. Se por alguma razão o operador quiser mudar de velocidade, basta clicar na opção *slow*.

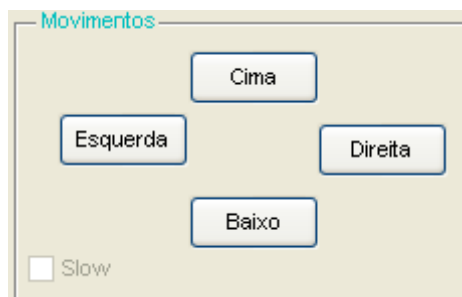


Figura 5.3 – Parte de controlo dos motores de varrimento horizontal e vertical do telescópio

5.2.3 Motor de focagem – controlo.

O motor de focagem tem como função fazer dois movimentos: rodar o parafuso no sentido que permite focar objectos mais próximos e inversamente fazendo com que permita focar objectos mais longínquos.

Estas duas simples instruções são accionadas por dois botões: *Zoom In* e *Zoom out*. Da mesma forma que nos motores de varrimento este motor focagem também tem duas velocidades: rápido (por defeito) e lento.

Embora o motor não envie qualquer informação sobre o número de voltas que já efectuou. Esta característica prejudica de alguma forma o desempenho do sistema, que é explicado na secção 5.2.5

5.2.4 Câmara digital Ueye - Ligação.

A ligação da câmara digital com o computador é feita através da porta USB com a *Image Acquisition Toolbox* que permite estabelecer a ligação entre o MATLAB e a câmara digital. É necessário reservar virtualmente no MATLAB a utilização da câmara, definindo à partida os parâmetros de resolução de imagem, tipo de *codec*⁵ e o ID da câmara:

```
videoinput('winvideo',1,'RGB32_1280x1024')
```

Neste caso, o codec utilizado é o *winvideo*, o ID da câmara é 1 e a resolução 1280×1024 com o formato RGB 32 bits, ou seja uma imagem a cores.

Após esta configuração apresenta-se na janela de interface as imagens em tempo-real dando a possibilidade ao operador de observar para que alvo o telescópio está direccionado.

Caso a ligação entre o software e o hardware não seja bem sucedida, aparece uma mensagem de erro ao operador, idêntica à mensagem apresentada na figura 5.3.

5.2.5 Câmara digital Ueye – aquisição de imagens.

Esta secção descreve o processo de aquisição de imagens de uma coluna de fumo em diferentes planos de focagens.

A ideia base é enviar uma instrução ao motor de focagem e à medida que este se desloca, a câmara digital acoplada ao telescópio inicia a aquisição de imagens, de forma a que velocidade de aquisição consiga acompanhar o movimento do motor. Ao mesmo tempo guarda-se o tempo de aquisição de cada imagem. O tempo será necessário para o cálculo das distâncias.

Codec⁵ – é um software que possibilita a compressão e descompressão de videos.

Para calcular a velocidade máxima de aquisição de imagens da câmara Ueye, quando está integrada com o MATLAB, fez-se uma pequena experiência. A experiência consistiu em capturar imagens com diferentes formatos e dimensões. Desta forma fez-se a aquisição de 600 imagens e em cada intervalo de 50 imagens guardava-se o tempo de início e o tempo final.

Após a aquisição de algumas imagens, verificou-se que a velocidade máxima de aquisição de imagens é de 10 fps, quando as imagens têm o formato 1280×1024 em grayscale. Embora nas especificações da câmara estava mencionado que consegue velocidades de aquisição até 17 fps, neste caso existe uma limitação do MATLAB, não sendo possível obter essa velocidade de aquisição.

No final deste processo obtêm-se dois ficheiros: um ficheiro cujo conteúdo é uma célula com todas as imagens e outro ficheiro com o conteúdo dos tempos de aquisição de cada imagem.

De acordo com as especificações técnicas do telescópico, movendo o motor de focagem no sentido Zoom in \rightarrow Zoom out, vai corresponder a imagens focadas que encontram-se mais longínquas do aparato experimental e à medida que o motor se desloca para Zoom out obtém-se a imagens focadas a alvos mais próximos.

Desta forma fez-se um teste que consistiu em identificar alvos posicionados a diferentes distâncias conhecidas, podendo afirmar-se que 30 segundos de movimento rotacional do motor de focagem são suficientes para focar objectos a distâncias entre 3.5m a 15Km permitindo cumprir os requisitos apresentados pelo FFF.

5.3 Algoritmo de detecção de imagem focada.

As ferramentas de processamento digital de imagem desenvolvidas no âmbito deste projecto permitem efectuar a detecção de uma imagem focada num conjunto de imagens com diferentes planos. O desenvolvimento deste tipo de algoritmo baseou-se em duas realidades distintas. Com a utilização da câmara da Lumenera fez-se um conjunto de teste com imagens retiradas a nuvens, e com a câmara Ueye elaborou-se um conjunto de teste com imagens retiradas a objectos e a uma chaminé fabril.

5.3.1 Algoritmo de detecção de imagem focada – por contagens de pontos brancos.

Este algoritmo consiste em aplicar um filtro laplaciano à imagem em estudo de modo realçar os contornos das imagens. A figura 5.4 ilustra o funcionamento deste algoritmo

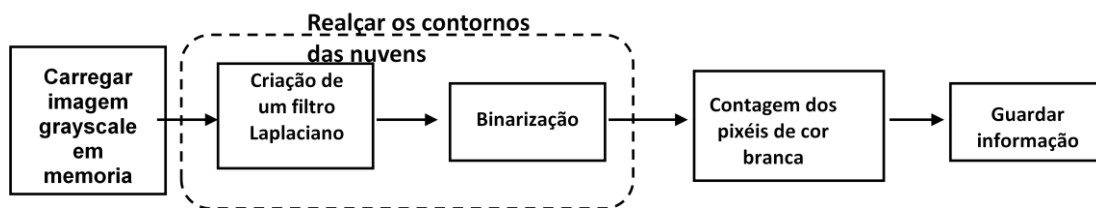


Figura 5.4 – Diagrama de blocos que descreve o algoritmo da secção 5.3.1

O algoritmo começa por localizar a pasta das imagens em estudo. Esta directoria é definida pelo programa principal assim que acaba de fazer a aquisição das imagens. Todas as pastas são identificadas pelo dia e pela hora (HH:MM:SS) da última imagem adquirida.

As imagens são carregadas em memória individualmente, ou seja, é analisada uma imagem, retiram-se as características necessárias e de seguida é eliminada da memória. As características são guardadas numa matriz linha auxiliar.

A imagem é carregada em formato gray (tons de cinza), de seguida é criado um filtro laplaciano que é aplicado à imagem. A imagem resultante desta transformação contém os contornos realçados, quer de um objecto ou de um alvo difuso. Pretende-se com a aplicação do filtro realçar os contornos, conseguir distinguir de forma clara as diferenças entre um alvo desfocado e um focado.

O próximo passo do algoritmo é a conversão da imagem para BW⁶. Assim a imagem resultante apenas contém pixels de cor preta (fundo da imagem) e branca (os contornos dos alvos difusos). Desta forma percorre-se a imagem e conta-se o número

BW⁶ – Preto e branco (*Black and White*)

de pixels a branco ou seja, cujo valor numérico seja um. No final da contagem guarda-se este valor numa matriz linha com o mesmo índice que a imagem em estudo. Uma imagem desfocada terá menos pixels de cor branca do que uma imagem focada, pois os contornos têm mais relevo na imagem. Depois de se aplicar este processo às restantes imagens, a determinação da imagem focada é feita pela a imagem que contém maior número de pixels a branco.

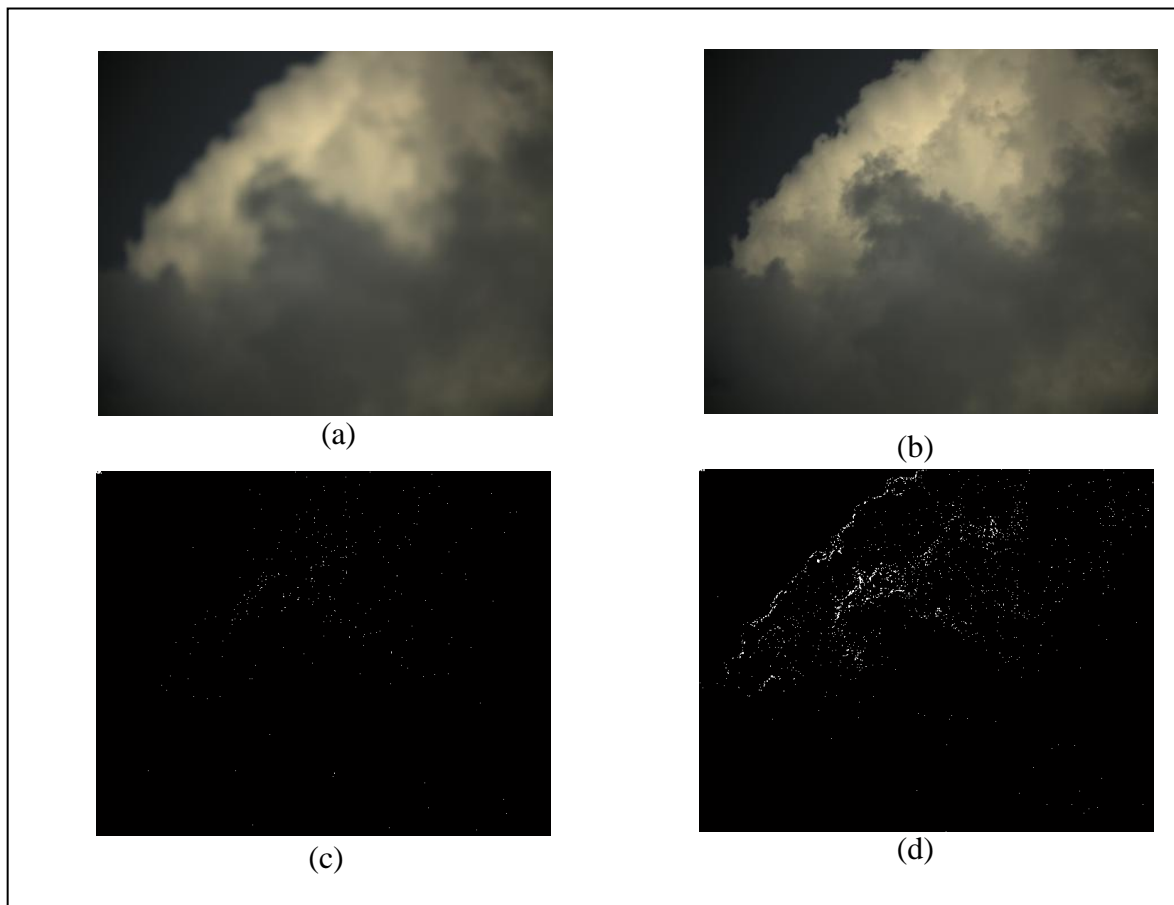


Figura 5.5 – Conjunto de imagens tratadas com o algoritmo descrito em 5.3.1. (a) imagem original desfocada; (b) imagem original focada; (c); imagem em formato binário desfocada; (d) imagem em formato binário focada

Como se pode observar pela figura 5.5, a imagem focada possui mais pixels a branco do que uma imagem desfocada sendo a partir deste princípio que este algoritmo se baseia.

5.3.1.1 Procedimento experimental e resultados

Para testar este algoritmo utilizou-se o aparato experimental do sistema FFF, como já foi referido anteriormente que, está equipado com a câmara Lumenera. Quando este algoritmo foi desenvolvido foi impossível realizar testes em condições reais, ou seja, testes na presença de fumo de incêndio. Desta forma adquiriram-se 27 conjuntos de imagens de nuvens com planos focais diferentes.

Aplicou-se o algoritmo em questão a todo o conjunto de imagens, e registaram os resultados. Na figura 5.6 pode observar os resultados do conjunto de teste nuv. 6 e nuv. 20.

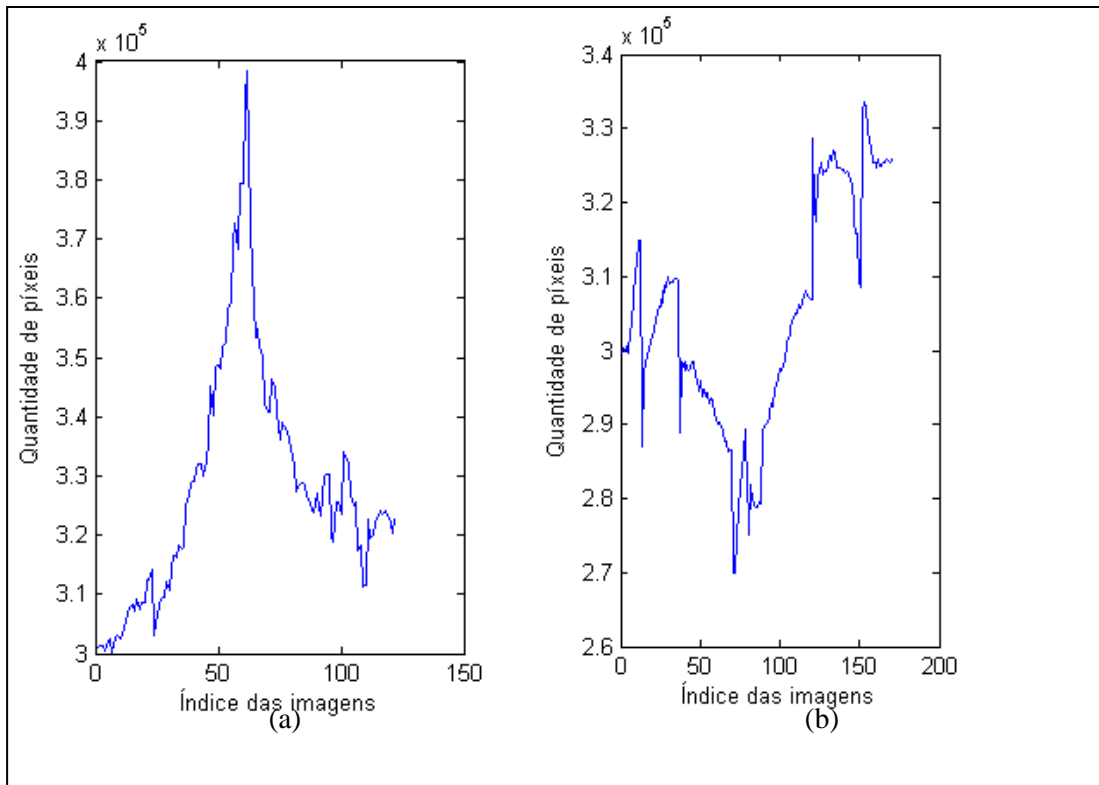


Figura 5.6 – Gráficos representativos do algoritmo da secção 5.3.1. (a) Gráfico típico de detecção correcta da imagem focada; (b) Gráfico típico de detecção incorrecta da imagem focada.

Em relação aos gráficos representados na figura 5.6, são os dois tipos de curvas de detecção correcta (5.6 (a)) e incorrecta (5.6 (b)) da imagem focada. Após percorrer todo o conjunto de imagens pode-se sintetizar os resultados na seguinte tabela:

Tabela 5.1 - Tabela com os resultados do conjunto de dados. As linhas de cor vermelha são os casos em que o algoritmo classificou incorrectamente a imagem focada.

Nome do Conjunto de Imagens	Nº Imagem Focada	Imagem Focada Algoritmo 5.3.1
nuv. 1	39	39
nuv. 2	58	58
nuv. 6	62	62
nuv. 7	65	65
nuv. 8	60	60
nuv. 9	49	49
nuv. 10	80	80
nuv. 12	72	72
nuv. 13	76	56
nuv. 14	79	74
nuv. 15	48	48
nuv. 16	76	76
nuv. 17	82	82
nuv. 18	60	60
nuv. 19	70	70
nuv. 20	79	153
nuv. 21	57	57
nuv. 22	58	58
nuv. 23	76	26
nuv. 24	78	78
nuv. 25	63	63
nuv. 26	68	68
nuv. 27	52	30
nuv. 28	72	72
nuv. 29	66	66
nuv. 33	51	42
nuv. 34	61	47

De acordo com a tabela 5.1, pode verificar-se que no conjunto de 27 exemplos apenas em 7 casos o algoritmo não classifica correctamente a imagem focada, originando uma incerteza na ordem de 26%.

5.3.2 Algoritmo de detecção de imagem focada – por cálculo da variância em matrizes 7x7.

O algoritmo é bastante semelhante ao anterior, pois aplica-se exactamente o mesmo filtro e adoptam-se os mesmos processos. A única diferença é que se percorre a imagem em matrizes 7x7. Em cada matriz contam-se os pixéis de cor branca, e calcula-se a variância de cada matriz. O valor resultante é guardado num vector auxiliar.

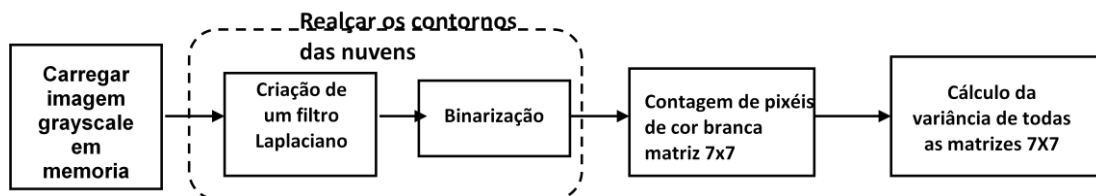


Figura 5.7 - Diagrama de blocos que descreve o algoritmo da secção 5.3.2

Quando a matriz acaba de percorrer a imagem calcula-se a variância total da imagem, ou seja, todos os valores guardados no vector auxiliar.

Este algoritmo foi baseado nos gráficos de densidade populacional, pois à semelhança deste tipo de gráficos, numa imagem focada de um alvo difuso (nuvem ou fumo) após aplicar o filtro laplaciano verifica-se que existem aglomerados de pontos brancos que definem os contornos e relevos desses alvos. Desta forma, o cálculo da variância de cada matriz permite quantificar essas zonas.

No final do algoritmo a imagem que tiver maior variância será a imagem focada.

Este processo serve de apoio ao algoritmo da secção 5.3.1 como irá ser explicado no próximo parágrafo.

5.3.2.1 Procedimento experimental e resultados

Com o objectivo de testar este algoritmo, conforme anteriormente referido, foi utilizado o aparato experimental do sistema FFF, equipado com a câmara Lumera. Devido à impossibilidade de realização de testes na presença de fumo de incêndio aquando o desenvolvimento deste algoritmo, foram adquiridos 27 conjuntos diferentes de imagens de nuvens com diferentes planos focais.

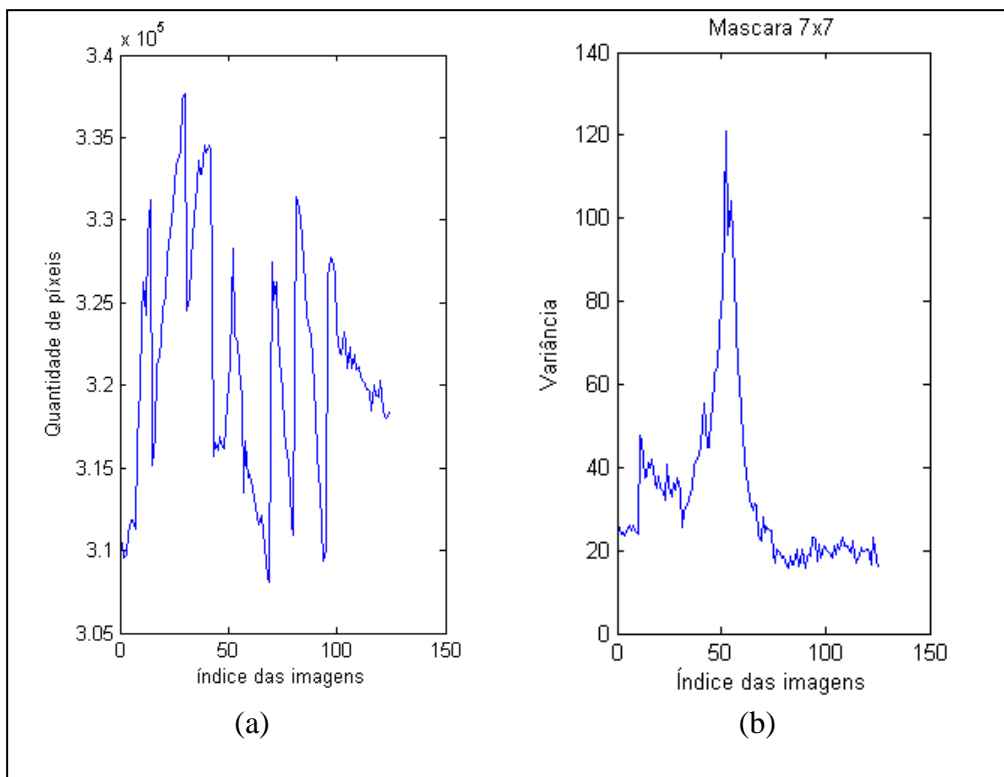


Figura 5.8 – Conjunto de nuv. 27 - (a) Gráfico com algoritmo utilizado na secção 5.3.1; (b) Gráfico com algoritmo utilizado m 5.3.2

Tabela 5.2 - Tabela com os resultados do conjunto de dados. As linhas de cor vermelha são os casos em que o algoritmo classificou incorrectamente, a imagem focada.

Nome do Conjunto de Fotos	Nº Foto Focada	Foto Focada Teste Focagem Simples	Foto Focada Teste 7x7
nuv. 1	39	39	38
nuv. 2	58	58	99
nuv. 6	62	62	122
nuv. 7	65	65	64
nuv. 8	60	60	59
nuv. 9	49	49	117
nuv. 10	80	80	79
nuv. 12	72	72	136
nuv. 13	76	56	76
nuv. 14	79	74	79
nuv. 15	48	48	40
nuv. 16	76	76	77
nuv. 17	82	82	82
nuv. 18	60	60	59
nuv. 19	70	70	70
nuv. 20	79	153	79
nuv. 21	57	57	103
nuv. 22	58	58	58
nuv. 23	76	26	78
nuv. 24	78	78	78
nuv. 25	63	63	63
nuv. 26	68	68	38
nuv. 27	52	30	52
nuv. 28	72	72	73
nuv. 29	66	66	66
nuv. 33	51	42	51
nuv. 34	61	47	61

Analisando a tabela 5.2, pode-se observar que no conjunto dados apresentado apenas em 6 casos, o algoritmo não classifica correctamente a imagem focada, originando uma percentagem de incerteza na ordem de 22%.

5.3.3 Algoritmo de detecção de imagem focada – conjugação dos algoritmos contagem de pontos brancos (5.3.1) e cálculo da variância em matrizes 7X7 (5.3.2)

A conjugação destes dois algoritmos surgiu após analisar os resultados obtidos. Verificou-se através da comparação de tabelas resultantes, que os casos em que o algoritmo descrito na secção 5.3.1 tinha problemas o algoritmo presente na secção 5.3.2 conseguia resolver, e vice-versa.

Inicialmente este algoritmo utiliza o processo descrito na secção 5.3.1. De seguida faz-se uma análise da quantidade de máximos existentes no gráfico. Se o gráfico tiver mais do que 2 máximos com cerca de 3% do máximo total, então utiliza-se o processo descrito em 5.3.2. Esta troca de algoritmos deve-se à forma dos gráficos obtidos no algoritmo 5.3.1, que normalmente são referentes a imagens cujas nuvens não se encontram bem definidas ou então em que, não existe o contraste do azul do céu.

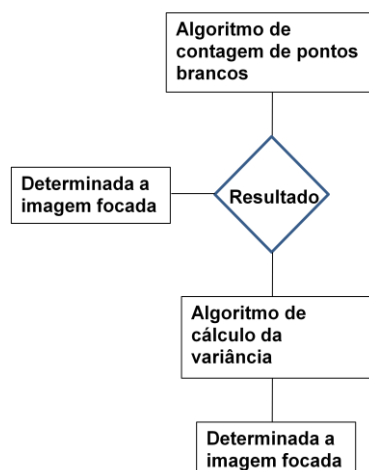


Figura 5.9 – Fluxograma representativo do funcionamento do algoritmo da secção 5.3.3

5.3.3.1 Procedimento experimental e resultados

O procedimento experimental é totalmente semelhante ao que já foi descrito na secção 5.3.1 e na secção 5.3.2

Tabela 5.3 - Tabela com os resultados do conjunto de dados. As linhas de cor vermelhas são os casos em que o algoritmo 5.3.1 não classificou correctamente a imagem focada. As linhas de cor verdes são os casos em que houve uma correcção por parte do algoritmo na secção 5.3.2

Nome do Conjunto de Fotos	Nº Foto Focada	Foto Focada Teste Focagem Simples	Foto Focada Teste 7x7
nuv. 1	39	39	38
nuv. 2	58	58	99
nuv. 6	62	62	122
nuv. 7	65	65	64
nuv. 8	60	60	59
nuv. 9	49	49	117
nuv. 10	80	80	79
nuv. 12	72	72	136
nuv. 13	76	56	76
nuv. 14	79	74	79
nuv. 15	48	48	40
nuv. 16	76	76	77
nuv.17	82	82	82
nuv. 18	60	60	59
nuv. 19	70	70	70
nuv. 20	79	153	79
nuv. 21	57	57	103
nuv. 22	58	58	58
nuv. 23	76	26	78
nuv. 24	78	78	78
nuv. 25	63	63	63
nuv. 26	68	68	38
nuv. 27	52	30	52
nuv. 28	72	72	73
nuv. 29	66	66	
nuv. 33	51	42	51
nuv.34	61	47	61

Após de analisar os resultados obtidos, referenciados na tabela 5.3, pode-se dizer que no conjunto de 27 dados apenas 1 caso é que o algoritmo não classifica correctamente a imagem focada, originando uma percentagem de incerteza na ordem de 3%.

5.3.4 Algoritmo de detecção de imagem focada – utilização da transformada de Fourier

Este algoritmo baseia-se na aquisição de informação através da nitidez da imagem. A nitidez é sem dúvida um dos factores que permite a determinação da qualidade de imagens fotográficas, pois evidência a qualidade de detalhes que pode reproduzir num conjunto de imagens. Numa forma geral a nitidez de uma imagem pode ser caracterizada pelos limites entre as zonas de diferentes tons e cores. Assim, quanto maior for o contraste entre estes limites maior será a nitidez da imagem.

No caso presente, para determinar a imagem com maior nitidez, ou seja, com melhor qualidade de contornos e limites utilizou-se a Transformada de Fourier. Com este processo pode-se decompor a imagem em duas componentes: amplitude e fase.

Este método é bastante eficiente, pois permite com a utilização de filtros retirar a informação necessária, ou seja, as formas e relevos das nuvens de fumo provenientes de um incêndio.

Como já foi dito anteriormente, a transformada de fourier permite decompor a imagem em duas componentes. Neste caso apenas é utilizada a componente de amplitude, uma vez que se pretende quantificar a informação presente numa determinada zona da imagem.

Neste tipo de componente a informação encontra-se maioritariamente ao centro, pois é utilizada uma função em MATLAB *fftshift*, que permite a translação de toda a informação para o centro da imagem.

No algoritmo desenvolvido aplicam-se filtros de forma circular, de modo a seleccionar a zona de interesse que permite determinar a nitidez da imagem em estudo.

Este processo é composto por duas fases: na primeira fase utiliza-se a transformada de Fourier nas imagens, trabalhando apenas com a componente de amplitude. Na segunda fase utilizam-se filtros de forma circular, no centro da imagem, para seleccionar apenas uma secção que contém a amplitude da informação que é responsável pelas formas e contornos da imagem.

Filtros circulares ou de circunferência.

Os filtros circulares permitem seleccionar apenas informação de interesse, retirando *a priori* ruídos inerentes à imagem. Estes são criados com base na fórmula geral da circunferência.

$$(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 \leq r^2$$

Este algoritmo começa por criar duas imagens com o mesmo tamanho das imagens em estudo, e inicia-as a zeros, ou seja, cria duas imagens em que todos os pixéis são de cor preta. A cada imagem de zeros começa-se a conceber uma circunferência de raio 2 e 10 pixéis respectivamente, ao centro. As circunferências são definidas com pixéis cujo valor numérico é 1 (cor branca), como se pode observar na imagem na figura 5.10.



Figura 5.10 – Filtros circulares. (a) Filtro circular de raio 2; (b) filtro circular de raio 10

Transformada de Fourier

Este processo consiste em aplicar a transformada de fourier à imagem em estudo, de modo seleccionar na componente de amplitude a informação responsável pelos contornos da imagem.

As imagens são carregadas em memória individualmente e aplica-se a transformada de fourier. Esta função retorna uma matriz com a mesma dimensão que a imagem em estudo encontrando-se a informação maioritariamente no centro da matriz.

Na matriz da componente de amplitude afectam-se os filtros circulares de forma a resgatar a informação necessária. O processo de filtragem da componente amplitude processa-se de um modo muito simples, faz-se a multiplicação ponto a ponto, ou seja a convolução, entre a componente de amplitude e os filtros circulares, resultando duas imagens cuja informação apenas se encontra numa circunferência de raio 10 e 2 pixéis.

A informação contida nessas duas circunferências é a informação referente aos contornos das imagens. Desta forma, calcula-se a soma de todos os pixéis de cada uma das duas circunferências.

Para eliminar o ruído presente nas imagens foi necessário retirar a informação presente na circunferência de menor raio. Assim, utilizou-se uma equação similar a um filtro passa-banda de modo a obter-se apenas a informação de raio maior que 2 e raio menor ou igual a 10, como se pode verificar na equação abaixo:

$$info_f = \frac{info_r1}{(info_r2 - info_r1)}$$

info_r1 – informação contida na circunferência menor raio.

info_r2 – informação contida na circunferência maior raio.

info_f - valor que quantifica a focagem da imagem

Após submeter todas as imagens com diferentes planos focais a este processo, de acordo com a equação apresentada, a imagem com melhor nível de focagem e nitidez, será a imagem com menor valor de *info_f*, ignorando desta forma a informação adicional contida numa imagem desfocada.

5.3.4.1 Procedimento experimental e resultados

O procedimento experimental para efectuar o teste a este algoritmo, foi totalmente semelhante ao que já foi descrito na secção 5.3.1 e 5.3.2

Tabela 5.4 – Tabela com os resultados da classificação automática de imagem focada através do algoritmo baseado na transformada de Fourier

Nome do Conjunto de Fotos	Nº Foto Focada	Foto Focada Algoritmo 5.3.4
nuv. 1	39	39
nuv. 2	58	58
nuv. 6	62	62
nuv. 7	65	65
nuv. 8	60	60
nuv. 9	49	49
nuv. 10	80	80
nuv. 12	72	72
nuv. 13	76	76
nuv. 14	79	74
nuv. 15	48	48
nuv. 16	76	76
nuv. 17	82	82
nuv. 18	60	60
nuv. 19	70	70
nuv. 20	79	79
nuv. 21	57	57
nuv. 22	58	58
nuv. 23	76	76
nuv. 24	78	78
nuv. 25	63	63
nuv. 26	68	68
nuv. 27	52	52
nuv. 28	72	72
nuv. 29	66	66
nuv. 33	51	51
nuv. 34	61	61

De acordo com a tabela 5.4, pode-se verificar que no conjunto de 27 dados apenas 1 caso é que o algoritmo não classifica correctamente a imagem focada, originando uma percentagem de incerteza na ordem de 3%.

5.4 Determinação da distância da coluna de fumo, em função da posição do plano de focado

Esta secção descreve o procedimento de calibração para proceder à determinação da distância de uma coluna de fumo em função da posição do plano focado.

A ideia base é fazer corresponder o tempo de aquisição de cada imagem com a posição do parafuso de focagem. Após a aquisição total das imagens o algoritmo de detecção de focagem automática indicará a imagem focada, ao qual está associado o tempo de aquisição.

O tempo de aquisição da imagem focada servirá como indicador do número de voltas que o parafuso de focagem rodou até atingir o plano focado. Desta forma consegue-se determinar a distância física entre o aparato experimental e a coluna de fumo.

No presente caso o motor de focagem que é utilizado para rodar o parafuso, não fornece qualquer informação sobre o número de voltas que já efectuou, pelo que se utilizou o tempo de aquisição de cada imagem de modo a determinar a distância que se encontra a coluna de fumo.



Figura 5.11 – Imagem ilustrativa do espaço entre o parafuso de focagem e a base do telescópio. Cada posição do parafuso de focagem representa um tempo de aquisição.

5.4.1 Método de calibração

Para realizar a calibração do sistema foi necessário reunir alguns pontos de referência na paisagem terrestre, como por exemplo, edifícios, postes de média tensão, depósitos de água e monumentos, a diferentes distâncias do local de observação para os quais, utilizando ferramentas auxiliares, torna-se possível determinarem as distâncias.

Nesta dissertação apenas foi possível criar uma curva de calibração com apenas quatro pontos de referência com as seguintes distâncias: 100 metros, 335 metros referente a um poste de média tensão, 4430 metros referente a um depósito de água e finalmente 15000 metros referente ao castelo de Palmela.

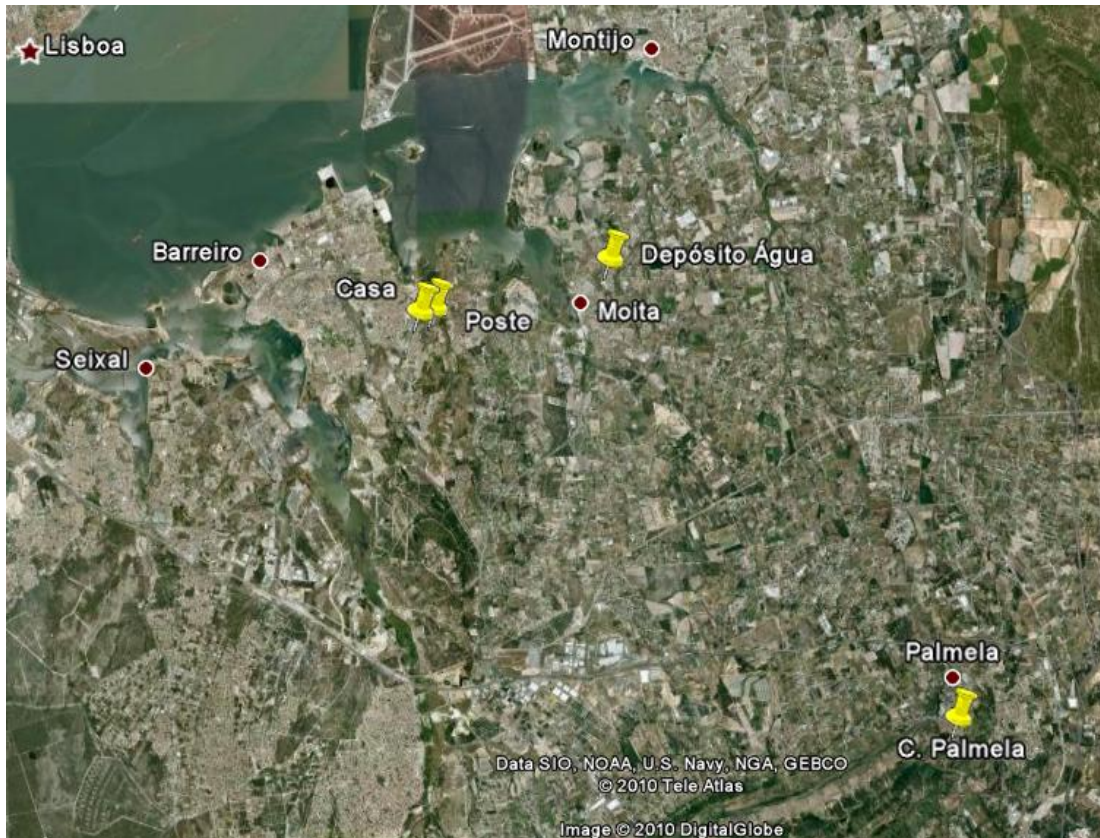


Figura 5.12 – Imagem do software Google Earth, que indica os *landmarks* que se utilizou para calibração do sistema

Tabela 5.5 – Coordenadas dos locais indicados na figura 5.14

Local	Coordenadas		Distância[m]
Casa	N 38°38'57.60"	9°02'13.94" O	0
Poste	N 38°39'0.38"	9°02'00.48" O	335
Depósito H2O	N 38°39'33.89"	9°59'16.41" O	4430
Castelo Palmela	N 38°33'58.20"	8°54'00.95" O	15000

As distâncias foram medidas em linha recta desde o local de observação aos pontos de referência com o software GOOGLE EARTH. Este software engloba uma ferramenta que permite calcular distâncias em linha recta, através das imagens aéreas. Como se pode verificar na figura 5.15.



Figura 5.13 – Ilustração do software GOOGLE EARTH, ferramenta de medir distâncias em linha recta

Já com o local de observação escolhido e com os pontos de referência á com as distâncias determinadas, procedeu-se à aquisição de imagens com diferentes planos de focagem a cada ponto de referência, ou seja, procedeu-se ao varrimento total da focagem do telescópio de forma a englobar as distâncias 3,5 metros a 15000 metros. A cada ponto de referência repetiu-se o teste 10 vezes, com as velocidades do motor lenta e rápida.

Após a conclusão dos testes procedeu-se à detecção da imagem focada e por conseguinte fazer a respectiva correspondência ao tempo de aquisição. Para minimizar os erros de detecção de imagem focada, este procedimento foi feito através da observação do utilizador de cada imagem para cada teste. Desta forma obtiveram-se as seguintes tabelas (ver tabelas 5.6-5.9) com os tempos das imagens focadas a diferentes distâncias.

Tabela 5.6 - Valores dos tempos de aquisição de imagem focada para cada amostra com a velocidade do motor rápida e lenta, para um alvo a 335 metros

100m		
Amostra	V. Rápida[s]	V. Lenta[s]
1	23,18	36,20
2	22,61	36,31
3	23,05	36,90
4	23,10	36,49
5	22,96	36,69
6	22,74	36,41
7	23,12	36,35
8	22,68	36,65
9	23,42	36,42
10	22,76	35,63

Média	22,96	36,41
Variância	0,0670	0,1165

Tabela 5.7 – Valores dos tempos de aquisição de imagem focada para cada amostra com a velocidade do motor rápida e lenta, para um alvo a 100 metros

Poste - 335 m		
Amostra	V. Rápida[s]	V. Lenta[s]
1	19,07	30,82
2	19,19	30,72
3	18,61	30,50
4	19,24	31,10
5	19,03	30,24
6	18,93	31,39
7	19,43	31,13
8	19,35	30,58
9	19,24	30,72
10	19,22	31,29

Média	19,131	30,849
Variância	0,0554	0,1365

Tabela 5.8 - Valores dos tempos de aquisição de imagem focada para cada amostra com a velocidade do motor rápida e lenta, para um alvo a 4430 metros

D. Água - 4430 m		
Amostra	V. Rápida[s]	V. Lenta[s]
1	18,79	29,77
2	18,83	29,75
3	18,97	29,85
4	18,38	29,90
5	19,10	29,40
6	18,53	29,71
7	18,80	29,75
8	18,59	29,87
9	19,14	29,36
10	18,80	30,01

Média	18,79	29,74
Variância	0,0587	0,0433

Tabela 5.9 - Valores dos tempos de aquisição de imagem focada para cada amostra com a velocidade do motor rápida e lenta, para um alvo a 15000 metros

C. Palmela - 15000m		
Amostra	V. Rápida[s]	V. Lenta[s]
1	18,93	29,67
2	18,49	29,42
3	18,95	29,17
4	18,62	29,55
5	18,85	29,54
6	18,72	29,89
7	18,70	30,02
8	18,66	29,45
9	18,84	29,81
10	18,62	29,49

Média	18,74	29,60
Variância	0,0224	0,0631

Pode-se verificar que para distâncias mais longínquas, o tempo da imagem focada é menor comparando com distâncias menos longínquas. Também se pode afirmar que as diferenças dos tempos de aquisição para os pontos de referência a 4430 e a 15000 metros para as velocidades de motor rápida e lenta são bastantes curtas, cerca de 0,05 e 0,14 segundos respectivamente. Desta forma pode-se dizer que a sensibilidade do telescópio é bastante alta, dificultando a obtenção de resultados com rigor, ou seja, se uma coluna de fumo estiver a uma distância entre de 4430m e a 15000m têm-se apenas uma margem curta para determinar a distância com exactidão. Procedeu-se à determinação das curvas de calibração para a velocidade rápida e lenta do motor. As rectas serão criadas com os valores médios de cada tabela, os gráficos serão do tempo em função da distância do objecto.

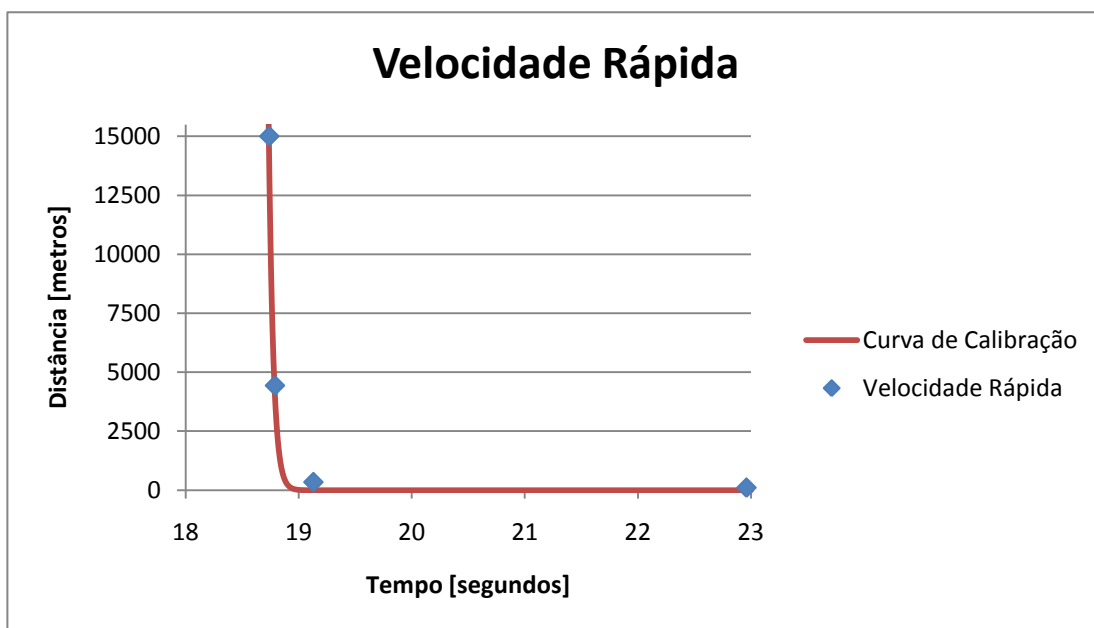


Figura 5.14 – Gráfico com a recta de calibração do motor de focagem, para a velocidade rápida.

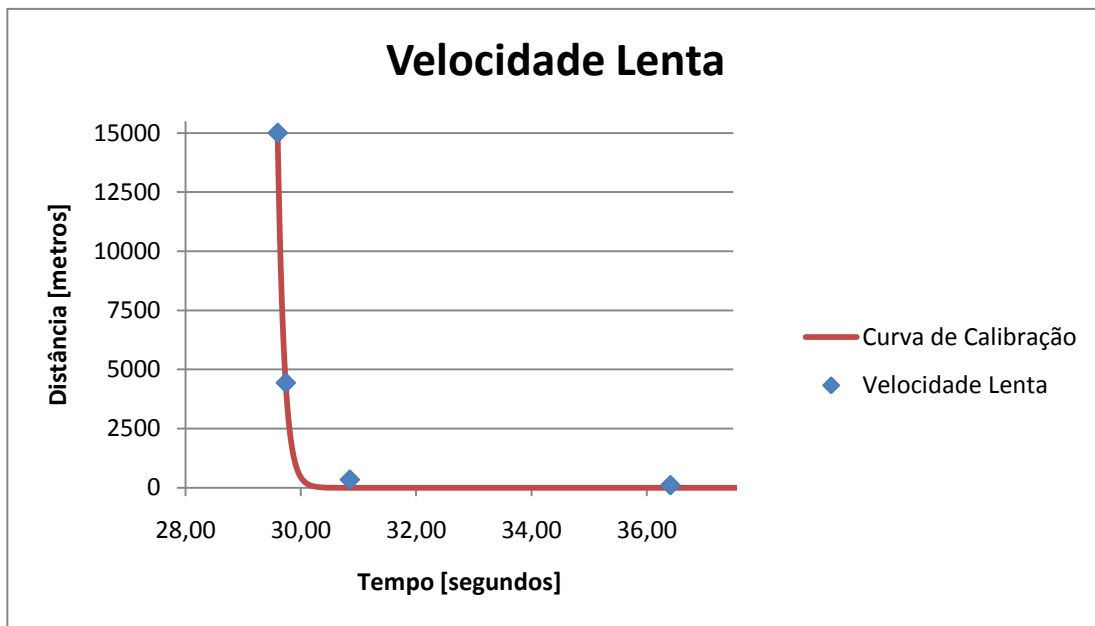


Figura 5.15 - Gráfico com a recta de calibração do motor de focagem, para a velocidade lenta.

As curvas de calibração podem ser representadas pelas seguintes equações:

Curva de calibração para velocidade rápida:

$$y = 1,54 \times 10^{14} \cdot e^{-\left(\left(\frac{x-16,82}{0,398}\right)^2\right)} [m]$$

Curva de calibração para velocidade lenta:

$$y = 3,32 \times 10^{134} \cdot e^{-\left(\left(\frac{x+39,37}{3,981}\right)^2\right)} [m]$$

Face aos resultados obtidos surgiu a necessidade de verificar se os resultados são coerentes, anteriormente a margem de tempo entre os pontos de referência de 4430 metros e a 15000 metros é bastante curta. Desta forma utilizou-se um paquímetro, com resolução 0,02 mm, para determinar a distância entre a base do telescópio e a posição do parafuso de focagem.

Assim, utilizou-se o mesmo local de observação e os mesmos pontos de referência. Colocando uma ocular no telescópio procedeu-se à observação de

objectos sem utilização da câmara digital e sem o motor de focagem. Fazendo o mesmo movimento que o motor de focagem, desta vez rodou-se o parafuso manualmente até se observar uma imagem focada e nítida. Nesta posição mediu-se com o paquímetro a distância entre a base do telescópio e a posição do parafuso e registaram-se os resultados obtidos. Também foi necessário medir a distância entre o parafuso de focagem na posição inicial do parafuso, por forma a retirar o *offset* inerente ao sistema óptico. Para concluir, mediu-se a distância quando o parafuso efectuou apenas uma volta.

	Posição inicial	1 volta	100 metros	335 metros	4430 metros	15000 metros
Dist. Média offset [mm]	6,02	6,79	10,6	9,87	9,78	9,71
Dist. Média [mm]	0	0,77	4,58	3,85	3,76	3,69
Variância	0,0116	0,0027	0,0076	0,0031	0,0017	0,0065
Num. Voltas	0	1	5,98	5,03	4,91	4,82

Tabela 5.10 – Medições efectuadas para determinar a distância entre a base do telescópio e o parafuso, para diferentes pontos de referência.

Como se pode observar pelas medições apenas 0,07mm separam em termos de posição do parafuso um objecto focado a 4430 metros e a 15000 metros, tendo em conta que uma volta completa corresponde a 0,77 mm cerca de 10 vezes mais.

Com estes resultados, podemos afirmar à partida que é necessário a utilização de um motor passo a passo de alta precisão com *encoder*. Assim à medida que as imagens são adquiridas guarda-se a posição do motor. Desta forma pode-se afirmar que os resultados obtidos nas tabelas 5.6 a 5.9, estão em coerência com os resultados obtidos na tabela 5.10.

Surgiu assim a necessidade de calcular o erro associado a alguns factores que têm muita influência para a determinação da distância.

- Incerteza associada à curva de calibração;
- Incerteza associada ao tamanho do pixel com a distância entre a base do telescópio a posição do parafuso.

Erro associado à curva de calibração

Para o cálculo deste erro, utilizou-se uma gama de valores com o passo de 0,05 seg.e determinaram-se as distâncias. A tabela abaixo é referente à curva de calibração para a velocidade de motor rápida.

Tabela 5.11 – Comparação com os valores estimados pela curva de calibração com o motor de focagem em velocidade rápida e os valores obtidos para determinação da curva de calibração.

Tempo [seg]	Distância estimada por focagem óptica [m]	Cálculo da distância pela através da curva de calibração (velocidade rápida) [m]
18,7	> 15000	27.113,57
18,75	15000	13.215,02
18,8	4430	3.889,97
18,85	< 4430	860,16
(...)	(...)	(...)
19,05	>335	4,06
19,1	~335	0,41
19,15	<335	0,23
(...)	(...)	(...)
22,9	> 100	1,75133E-87
22,95	100	1,74268E-89
23	< 100	7,86192E-91

Como se pode verificar na tabela 5.11, a curva de calibração não representa os valores obtidos anteriormente. Assim, pode-se afirmar que a curva de calibração que determina a distância face ao tempo da aquisição da imagem focada, não corresponde às nossas expectativas.

Utilizou-se o mesmo processo para o cálculo do erro, mas agora para a velocidade lenta do motor de focagem.

Tabela 5.12 - Comparação com os valores estimados pela curva de calibração com o motor de focagem em velocidade lenta e os valores obtidos para determinação da curva de calibração.

Tempo [seg]	Distância estimada por focagem óptica [m]	Cálculo da distância pela através da curva de calibração (velocidade lenta) [m]
29,55	> 1500	22.784,95
29,6	15000	14.747,46
29,65	< 15000	9.542,22
(...)	(...)	(...)
29,7	< 4430	6.172,27
29,75	4430	4.354,94
29,8	>4430	2.580,02
(...)	(...)	(...)
30,8	< 335	0,3920
30,85	335	0,2517
30,9	> 335	0,1616
(...)	(...)	(...)
36,35	> 100	2,54248E-23
36,4	100	1,5765E-23
36,45	< 100	9,77217E-24

Observando a tabela 5.12, também se conclui que os valores estimados pela curva de calibração não representam os resultados obtidos nas tabelas 5.6 a 5.9.

Erro associado ao tamanho do pixel com a distância entre a base do telescópio a posição do parafuso

Tomando como base os resultados obtidos na tabela 5.10, decidiu-se fazer uma aproximação, do tamanho médio de um pixel. Como foi descrito em 4.2.2 a câmara ueye contem um sensor CMOS com o tamanho 1/1.8". Verificando a tabela presente na página 105 dos Anexos da presente dissertação, consegue-se determinar que o sensor tem de comprimento 7,18 mm e de altura 5,32 mm.

Já foi referido que as imagens capturadas têm de resolução 1280×1024 pixéis e facilmente determina-se o tamanho médio de cada pixel.

$$\text{pixel comprimento} = \frac{7,18}{1280} = 5,61\mu m$$

$$\text{pixel altura} = \frac{5,32}{1024} = 5,20\mu m$$

De acordo com os valores da tabela 5.10, determinou-se que apenas 0,07 mm, separam as distâncias 1500 e 4430, desta forma pode-se calcular de uma forma linear que distância física que correspondente às dimensões do pixel.

$$\text{distância} = \frac{\text{dimensão pixel} \times [(1500 - 4430) \times 10^3]}{0,07}$$

Assim, pode-se afirmar que o erro associado às dimensões médias de um pixel pode corresponder a 847 metros e a 785 metros respectivamente. Desta forma pode-se concluir que, para a determinação de grandes distâncias, o erro associado ao tamanho médio do pixel não influencia a determinação da distância entre a coluna de fumo e o aparato experimental.

6 Resultados e Discussão

Ao longo da realização do projecto, foram efectuados vários testes que permitiram corrigir e validar todo o trabalho desenvolvido. Destacam-se os testes preliminares, em que se começou a desenvolver os algoritmos de detecção de incêndio através de imagens de nuvens como foi indicado na secção 5.3.1 e 5.3.2. Por outro lado, houve a necessidade de fazer testes em condições simuladas. Para a simular o fumo de incêndio, recolheram-se imagens de uma chaminé fabril, como se pode observar na figura 6.1. A distância entre a posição do telescópio e a chaminé é de cerca de 2500 metros, tendo esta medição sido elaborada através do Google Earth.

Este teste também foi bastante útil para verificar o funcionamento geral do sistema, ou seja, a movimentação dos motores de varrimento horizontal e vertical, bem como toda a arquitectura do sistema e integração de software/hardware e inicialização da câmara ueye e motores de movimento do telescópio.



Figura 6.1 – Imagem da chaminé a 2500 metros utilizada para os testes.

6.1 Testes simulados com chaminé fabril

Os testes efectuados tinham como objectivo simular o fumo de incêndio florestal, e desta forma verificar se na prática o sistema detecta de forma automática a imagem focada num conjunto de imagem com diferentes planos focais, e consequentemente determinar a distância entre o aparato experimental e a coluna de fumo.

Como já foi referido anteriormente, por motivo de avaria apenas se conseguiu adquirir um conjunto de imagens com o motor de focagem em velocidade rápida e apenas a 2500 metros da chaminé fabril. Desta forma o conjunto de treino para este sistema são 10 conjuntos de imagens.

Após capturar os conjuntos de imagens procedeu-se à experimentação dos algoritmos desenvolvidos.

6.1.1 Teste com algoritmo descrito na secção 5.3.3

O algoritmo descrito na secção 5.3.3 foi o que apresentou , a par com o algoritmo da secção 5.3.4, taxa de erro mais baixas, neste caso de 3%.

Abaixo é apresentada a tabela com os resultados da imagem focada escolhida pelo algoritmo com o tempo de aquisição.

Tabela 6.1 – Resultados da determinação da distância com o algoritmo da secção 5.3.3

Conjunto de imagens	Nº imagem focada	Nº imagem focada (algoritmo 5.3.3)
OH3	121	137
OH4	136	121
OH5	125	141
OH6	127	146
OH7	118	208
OH8	128	55
OH9	130	129
OH10	117	122
OH11	132	123
OH12	131	101

Como se pode verificar na tabela 6.1 apenas o resultado em destaque (OH9) está correcto. Quanto à determinação da distância não foi possível o seu cálculo.

É importante mencionar que este algoritmo apenas foi testado com imagens de nuvens provenientes da câmara lumenera. No presente teste as imagens obtidas através do telescópio possuem bastante mais ruído, e desta forma, este algoritmo poderá não estar preparado para estas condições

6.1.2 Teste com algoritmo na secção 5.3.4 – Transformada de Fourier

Após a verificação dos resultados anteriores, procedeu-se à utilização do algoritmo descrito em 5.3.4 utilizando a transformada de Fourier. Na tabela 6.2 pode-

se observar os resultados de todos os conjuntos de dados. Os gráficos referentes a este estudo encontram-se na secção ANEXOS.

**Tabela 6.2: Estudo efectuado com o algoritmo descrito na secção 5.3.4.
Determinação da imagem focada e respectivas distâncias.**

Conjunto de imagens	Nº imagem focada	Nº de imagem focada (Transformada de Fourier)	Tempo de aquisição [s]	Determinação da distância [km]
OH3	121	124	12,13	1,78E+71
OH4	136	138	13,08	2,41E+49
OH5	125	125	11,63	5,51E+84
OH6	128	132	12,44	3,75E+63
OH7	118	118	10,97	2,94E+104
OH8	128	130	12,03	6,93E+73
OH9	130	130	11,94	1,65E+76
OH10	117	117	10,94	3,97E+105
OH11	132	132	12,34	9,85E+65
OH12	131	135	12,67	1,64E+58

Á semelhança dos resultados dos testes com as nuvens, aqui também se considera que os resultados estão correctos numa vizinhança de 4 índices, pois como as imagens são obtidas a 10 fps significa que no máximo se terá uma diferença de tempo de 40 milissegundos.

Desta forma pode-se dizer que, em relação à determinação da imagem focada, os resultados encontram-se dentro da margem pretendida, podendo afirmar-se que a taxa de erro é perto dos 0%. Contudo, considera-se que seria necessário aumentar o conjunto de testes do estudo efectuado para permitir melhores conclusões do mesmo.

Quanto à determinação da distância através da curva de calibração, os resultados não correspondem à realidade, pois o alvo encontrava-se a 2500 metros. Os resultados apresentados na tabela 6.2 são fruto de uma má representação por parte da calibração do sistema.

7 Conclusões e Prespectivas Futuras

7.1 Conclusões

Os objectivos propostos na presente dissertação foram numa primeira fase a detecção automática, num conjunto de imagens com diferentes planos focais, de uma imagem focada, de forma a integrar o sistema FFF. Nesta fase adquiriram-se imagens de nuvens com a câmara da Lumera, como forma de testar os algoritmos desenvolvidos. Pode salientar-se que os resultados dos algoritmos das secções 5.3.3 e 5.3.4 foram positivos, uma vez que foram registadas taxas de incertezas na ordem dos 3%.

Para concluir a integração do sistema de determinação de distância por focagem óptica ficou somente em falta controlar automaticamente a focagem da câmara Lumera, de forma a percorrer todos os planos focais a uma velocidade constante, para que fosse possível determinar uma recta de calibração e fazer correspondência entre a posição do motor e a imagem escolhida como focada pelo algoritmo. Como não foi possível esta integração, decidiu criar-se um sistema autónomo e independente do FFF que permitisse testar e simular os algoritmos desenvolvidos em 5.3.3 e 5.3.4.

Numa segunda fase do trabalho, foi estipulado como objectivo a criação de um sistema autónomo, para realizar testes em condições simuladas. Este novo sistema é constituído por um telescópio, câmara digital ueye, e motores de varrimento horizontal, vertical e de focagem de forma a permitir a aquisição automática de imagens com diferentes planos focais, e por conseguinte a detecção automática de uma imagem focada. Por último, foi pretendido determinar a correspondência entre o tempo de andamento do motor de focagem e as imagens

adquiridas. Nesta segunda fase foi ainda desenvolvida uma interface gráfica em Matlab que permitiu a ligação e controlo dos motores de varrimento do telescópio, aquisição de imagens por parte da câmara digital de imagem e por último a gestão de memória inerente ao sistema, esta fase de integração de software com hardware que ficou totalmente funcional.

Após a análise dos resultados obtidos pode-se afirmar que o algoritmo de detecção da imagem focada descrito na secção 5.3.4, funciona plenamente e corresponde às expectativas, ou seja, tanto para os testes com as nuvens como no teste com a chaminé a taxa de erro foi bastante aceitável. Uma desvantagem neste tipo de algoritmo é o tempo de execução elevado, pois como utiliza a transformada de Fourier, este processo implica muita capacidade de computação, tornando este algoritmo uma contrariedade para o sistema desenvolvido.

Em relação à determinação da distância do fumo, a medição efectuada através da curva de calibração não foi correcta, como se pode observar na tabela 6. O erro inerente à curva de calibração é bastante elevado obtendo valores que não têm nenhum significado físico visto que são maiores que a capacidade máxima de focar objectos pelo telescópio. Assim, pode-se afirmar que não foi possível de alcançar esse objectivo porque, o motor de focagem do telescópio é apenas um motor DC sem *encoder* e de baixa precisão. Como a focagem do telescópio é bastante sensível, não foi possível fazer a correspondência exacta entre a posição do motor e as imagens adquiridas. É importante salientar que o tempo de aquisição das imagens é utilizado ponto de referência na determinação da posição do motor.

Como já foi referido o presente motor é de baixa precisão, aconteceu muitas vezes que quando se fazia uma leitura de um objecto sem alteração da posição física nunca tínhamos duas medidas iguais, como se pode observar nos resultados obtidos, nas tabelas 5.6 a 5.9.

Para agravar esta situação, o parafuso de focagem do telescópio é extremamente sensível, como se pode verificar nas medições descritas na tabela 5.10 com o paquímetro que apenas 0,07mm separam um objecto focado a 15000 a 4430 metros, ou então apenas 0,05 segundos de rotação do motor separam os alvos já mencionados.

Numa terceira fase do trabalho, foi necessário criar uma métrica que permite-se estabelecer uma relação entre o tempo de aquisição da imagem e a distância real a que o aparato experimental se encontrava de uma coluna de fumo. Para isso foram realizadas medições a alvos com diferentes distâncias, procedeu-se à aquisição de imagens e ao registo do tempo de cada aquisição, como se pode observar nos resultados na secção 5.4.1.

Desta forma com os resultados obtidos, já anteriormente descritos, salienta-se que somente foram obtidas duas rectas de calibração que não foram implementadas devido a um erro inicial na sua determinação.

Resumindo, em relação à detecção automática de uma imagem focada, o objectivo foi totalmente cumprido. Quanto ao objectivo da determinação física da distância entre o aparato experimental e a coluna de fumo, a tarefa não foi cumprida uma vez que o erro inerente à curva de calibração é considerável, uma vez que o hardware utilizado, nomeadamente o motor de focagem não é suficientemente preciso para as exigências da natureza deste problema, como já foi mencionado anteriormente.

7.2 Prespectivas Futuras

No trabalho realizado foram identificados vários aspectos complementares que permitem traçar linhas futuras de investigação.

A utilização de outra plataforma de desenvolvimento do sistema, como se sabe a plataforma utilizada foi o Matlab que se tornou bastante confortável para o desenvolvimento da presente dissertação, mas quanto a nível de performance torna-se uma ferramenta de baixo desempenho.

O motor de focagem revelou ser o ponto menos positivo da presente dissertação. Desta forma, sugere-se para o melhoramento da determinação das distâncias físicas entre o aparelho e o fumo de incêndio a utilização de um motor passo-a-passo com *encoder* de alta precisão. Existem soluções no mercado com precisões na ordem do picómetro, o que pode resultar num sistema mais lento mas bastante mais fiável e preciso.

Outra solução para a determinação correcta da distância seria a utilização de uma câmara digital incorporada com uma lente de grande alcance que permita planos de focagem a diferentes distâncias, de forma a detectar os incêndios mais longínquos. Seria ainda importante que fosse possível controlar a focagem remotamente através de actuadores que indicassem a posição da lente sempre que se movessem.

Bibliografia

- [1] Bastos, T. F., Abreu, J. M.,(1997). *Uso de sensores ultra-sônicos na medição de parâmetros em robótica e outras aplicações*. Instituto de Automática Industrial, Espanha.
- [2] Bosch, T., Lescure, M., (1995). *Selected Papers on Laser Distance Measurement*. SPIE Milestone Series.
- [3] Cerqueira, E., Kubota, L., (1999). *Utilização de filtro de transformada de Fourier para a minimização de ruídos em sinais analíticos*. Universidade de Franca, Brasil.
- [4] Duque, D., (2008). *Previsão e identificação de eventos de quebra de segurança em vídeo-vigilância*. Universidade do Minho, Portugal.
- [5] Encinas, J. I., Silva, G. F., (2002). *Técnicas florestais – variáveis dendrométricas*. Universidade de Brasília, Brazil.
- [6] Eslami, A., Fatemizadeh, E.(2007).*Insight to matlab image processing*.
- [7] Fernandez, A. M., Utkin, A. B., Lavrov, A. V., (2004). *Neural Network Based Recognition of Smoke Signatures from Lidar Signals*. Neural processing letters 19
- [8] Ferreira, M., Almeida, G., (1997). *Introdução à Astronomia e às Observações Astronómicas*. Plátano.
- [9] Fonseca, J. M.; *Acetatos de Sistemas sensoriais*. Universidade Nova de Lisboa, Portugal.
- [10] Gonzalez, R. C., Woods, R. E. (2002). *Digital Image Processing, second Ed.*. Prentice Hall.
- [11] Gonzalez, R. C., Woods, R. E., Eddins, S. L. (2004). *Digital Image Processing, using matlab*. Prentice Hall.
- [12] Hetcht, E.(2002). *Óptica, 2ª edição*, Fundação Calouste Gulbenkian.
- [13] Huang, F., Klette, R., Scheibe. K., (2008). *Panoramic Imaging Sensor-Line Cameras and Laser Range-Finders*. IS&T.

- [14] Kerr, D. A., (2005). *Principle of the split image focusing aid and the phase comparison autofocus detector in single lens reflex cameras*
- [15] Miguens, A. P., (2000), *Navegação: a ciência e a arte - Navegação Costeira, estimada e em águas restritas. vol1*. DHN, Rio de Janeiro
- [16] Myle, H. R., Weeks, A. R., (1993). *The Pocket Handbook of Image Processing Algorithms in C*. Prentice Hall.
- [17] NGNS,(2009). *Brochura de apresentação do Fire Forest Finder*. NGNS - Portugal
- [18] Roca, J. A., Corominas, N. T., (1996). *Óptica instrumental*. UPC.
- [19] Schultz, R. C., Ives, R. W., (2005). *Biometric data acquisition using matlab GUIs*, U.S. Naval Academy.

Referências Online

- [20] CS: <http://www.cs.mtu.edu/~shene/DigiCam/User-Guide/5700/AUTO-FOCUS/Auto-Focus.html>
- [21] Lasertech: <http://www.lasertech.com/default.aspx>
- [22] NGNS: <http://www.ngns-is.com/home.html>
- [23] Nikon: <http://www.nikon.com/about/technology/core/software/caf/index.htm>
- [24] Telescópio: <http://telescopiosastronomicos.com.br/>
- [25] <http://www.answers.com/topic/range-finder>

Anexos

Teste OHP 3

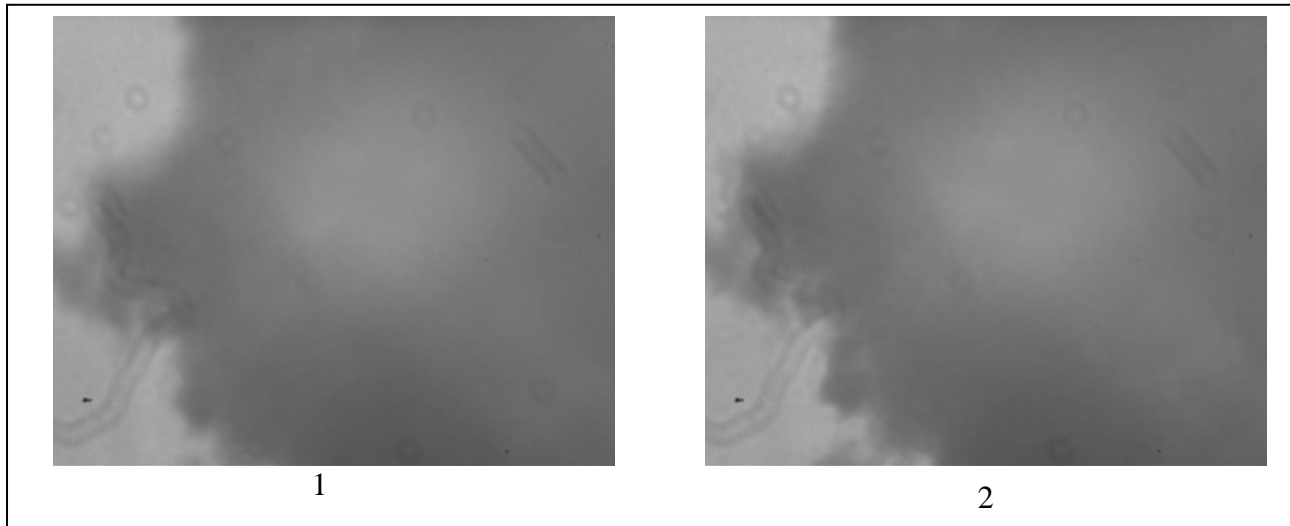


Figura 0.1 – (1)Imagem identificada como focada pelo programa, [imagem nº 124]; (2) Imagem focada escolhida por mim, [imagem nº 121]

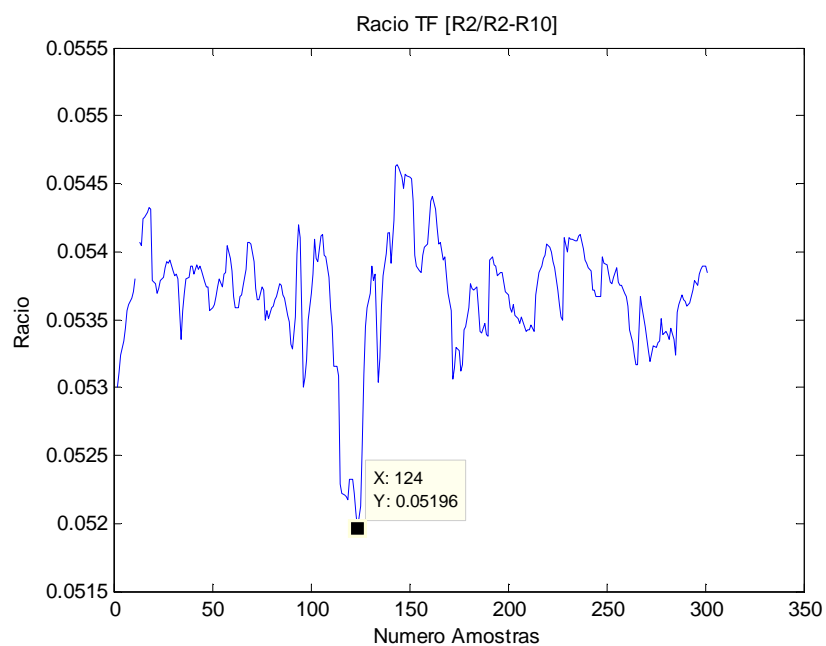


Figura 0.2 – Gráfico referente ao cálculo da imagem focagem, e respectivo índice

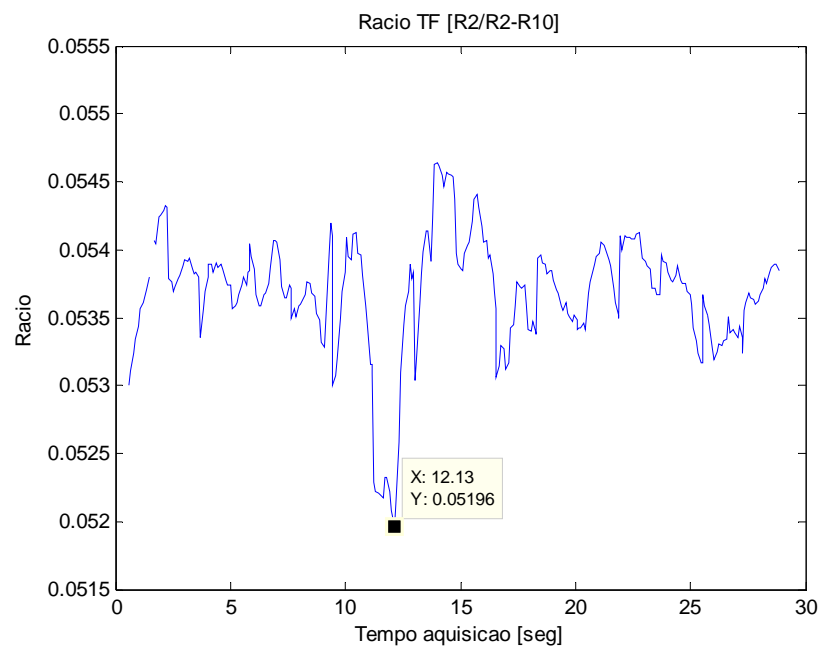


Figura 0.3 - Gráfico referente ao cálculo da imagem focagem, e com respectivo tempo de aquisição

Teste OHP 4

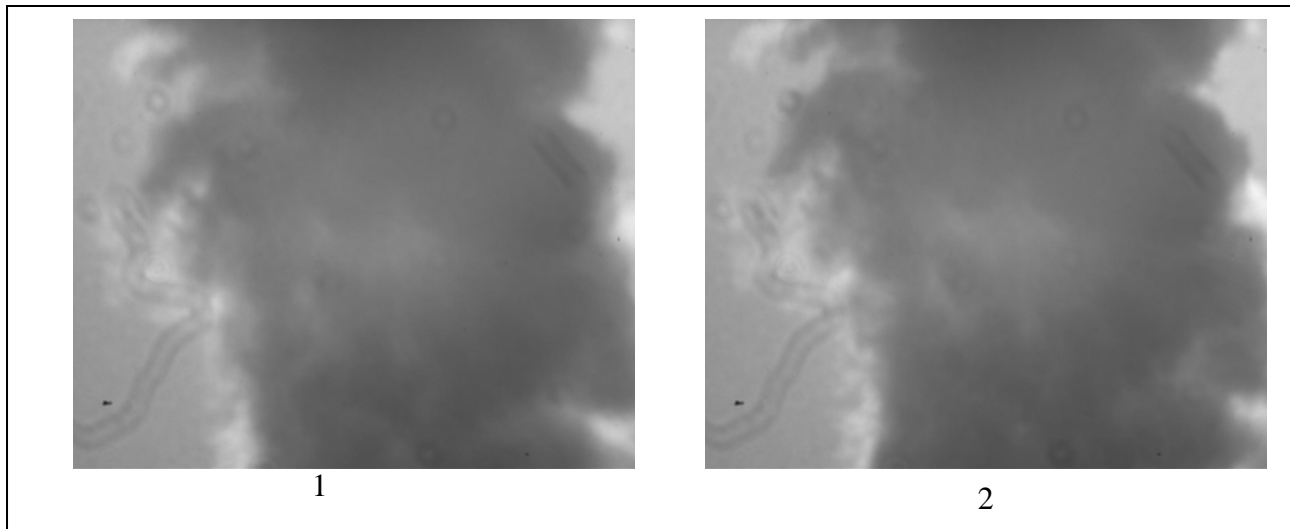


Figura 0.4 - (1) Imagem identificada como focada pelo programa, [imagem n° 138]; (2) Imagem focada escolhida por mim, [imagem n° 136]

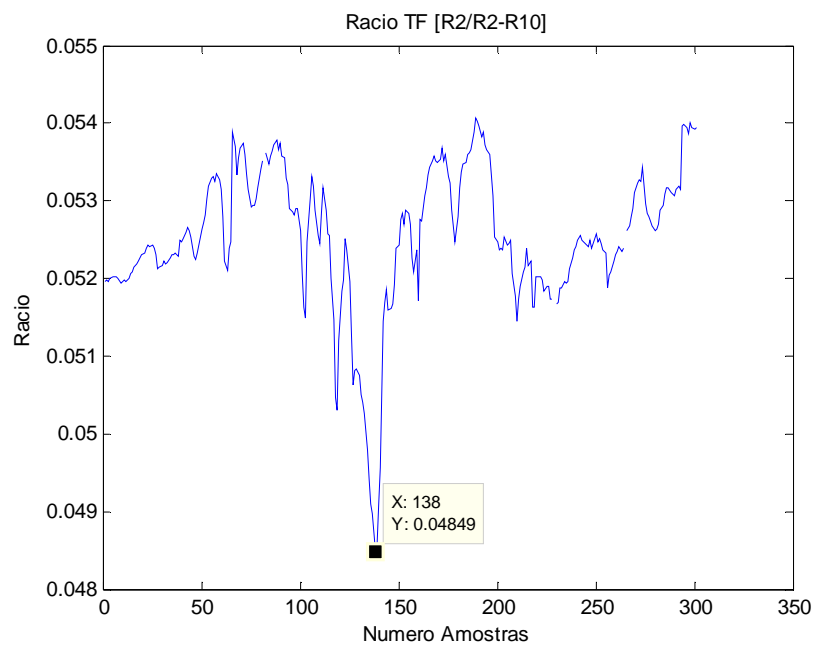


Figura 0.5 - Gráfico referente ao cálculo da imagem focagem, e respectivo índice

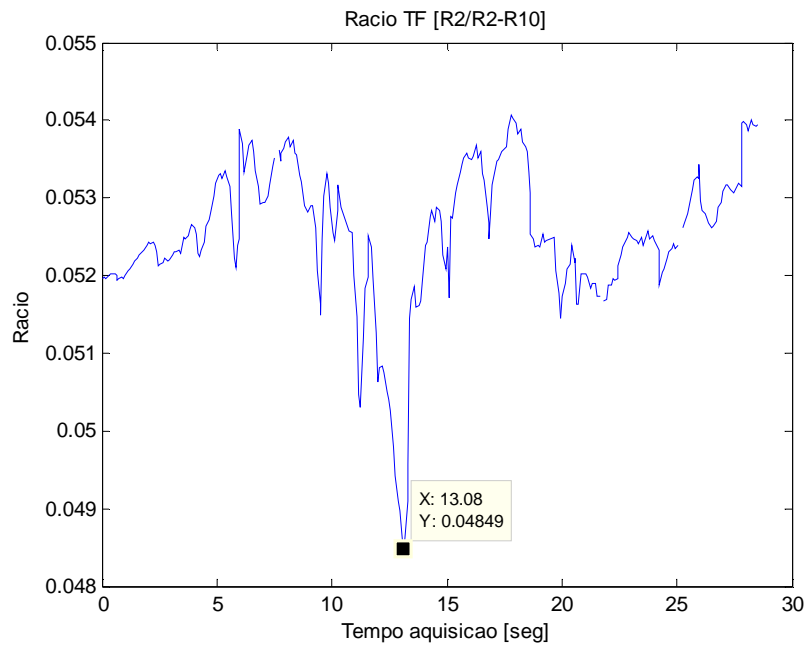


Figura 0.6 - Gráfico referente ao cálculo da imagem focagem, e com respectivo tempo de aquisição

Teste OHP 5

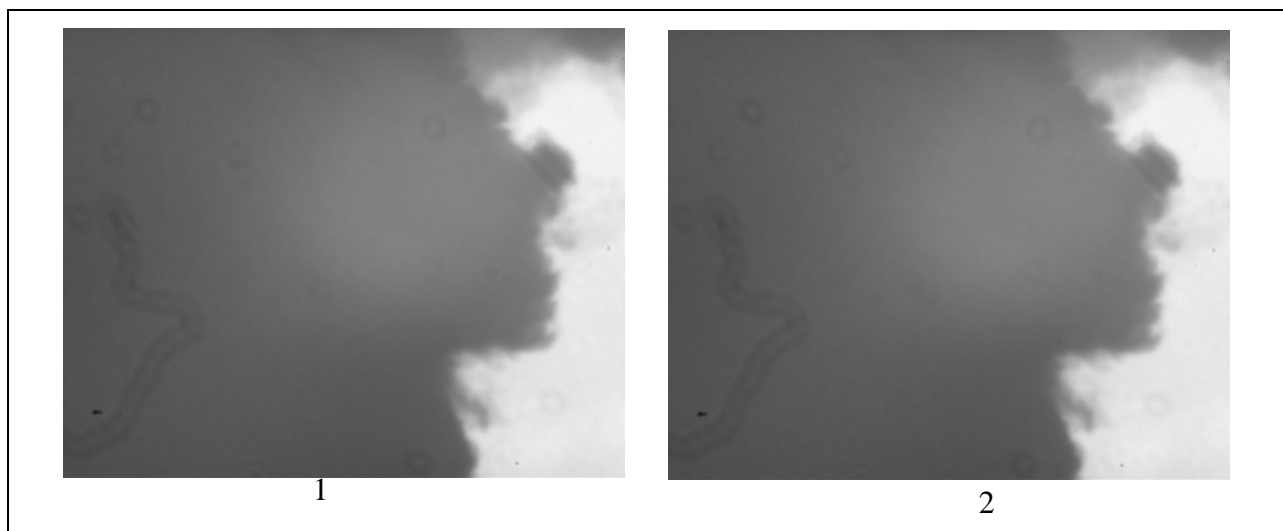


Figura 0.7 - 1) Imagem identificada como focada pelo programa, [imagem n° 125]; (2) Imagem focada escolhida por mim, [imagem n° 125]

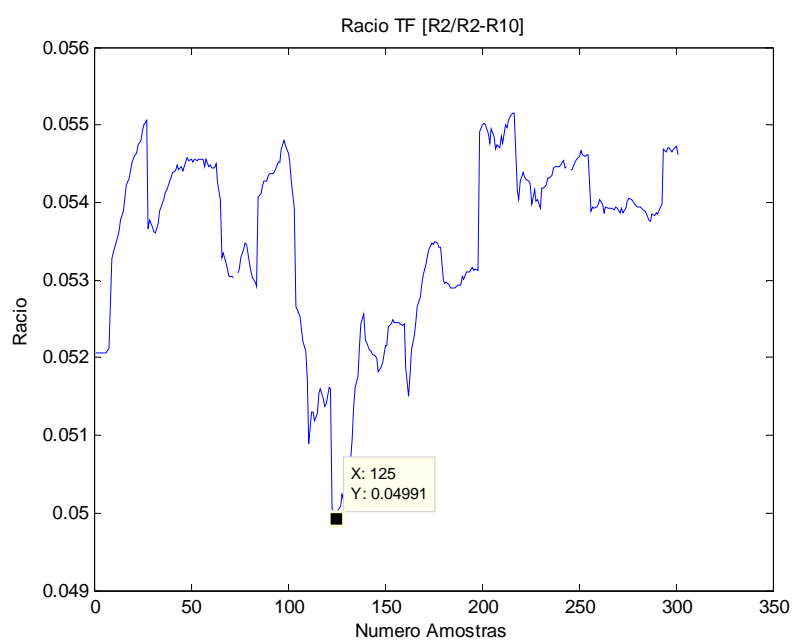


Figura 0.8 - Gráfico referente ao cálculo da imagem focagem, e respectivo índice

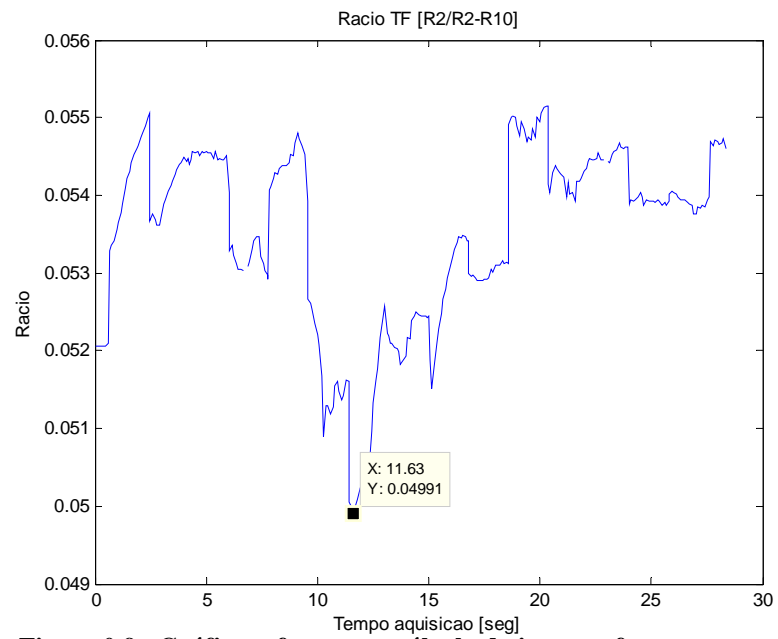


Figura 0.9 - Gráfico referente ao cálculo da imagem focagem, e com respectivo tempo de aquisição

Teste OHP 6

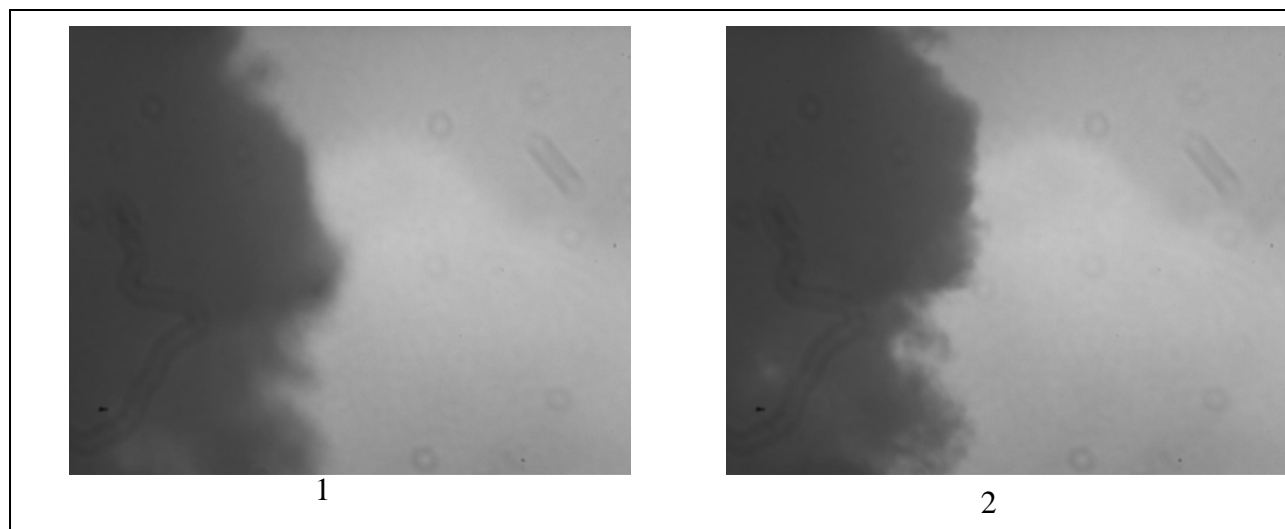


Figura 0.10 – (1) Imagem identificada como focada pelo programa, [imagem n° 132]; (2) Imagem focada escolhida por mim, [imagem n° 128]

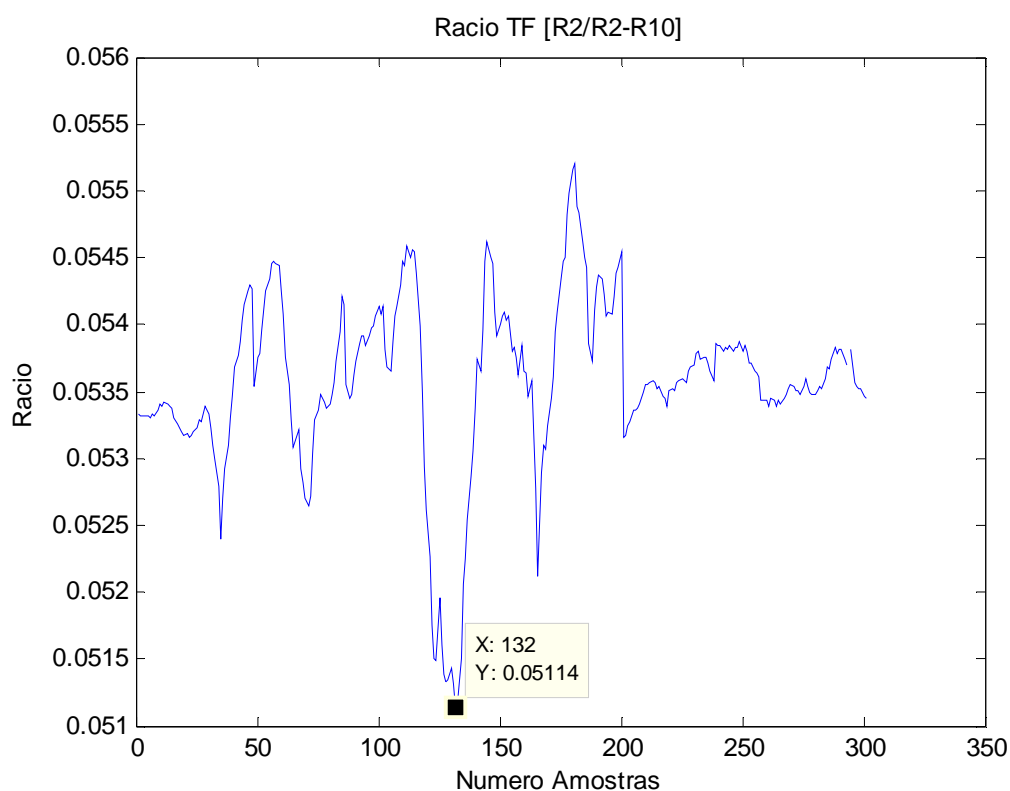


Figura 0.11 - Gráfico referente ao cálculo da imagem focagem, e respectivo índice

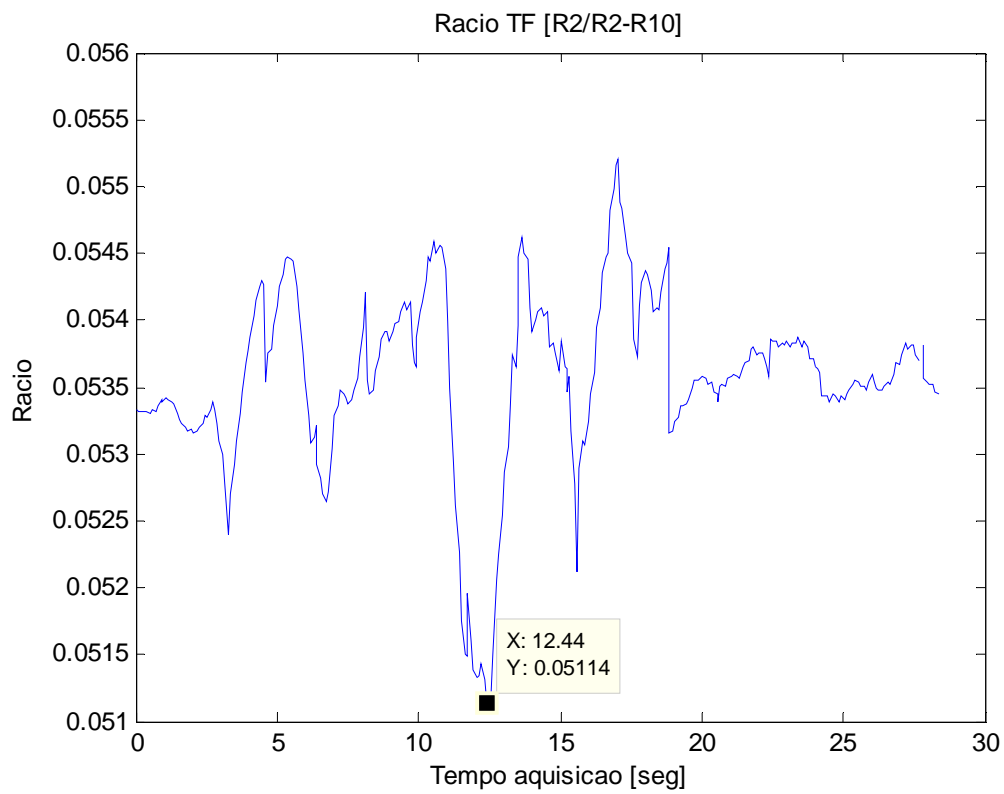


Figura 0.12 - Gráfico referente ao cálculo da imagem focagem, e com respectivo tempo de aquisição

Teste OHP 7

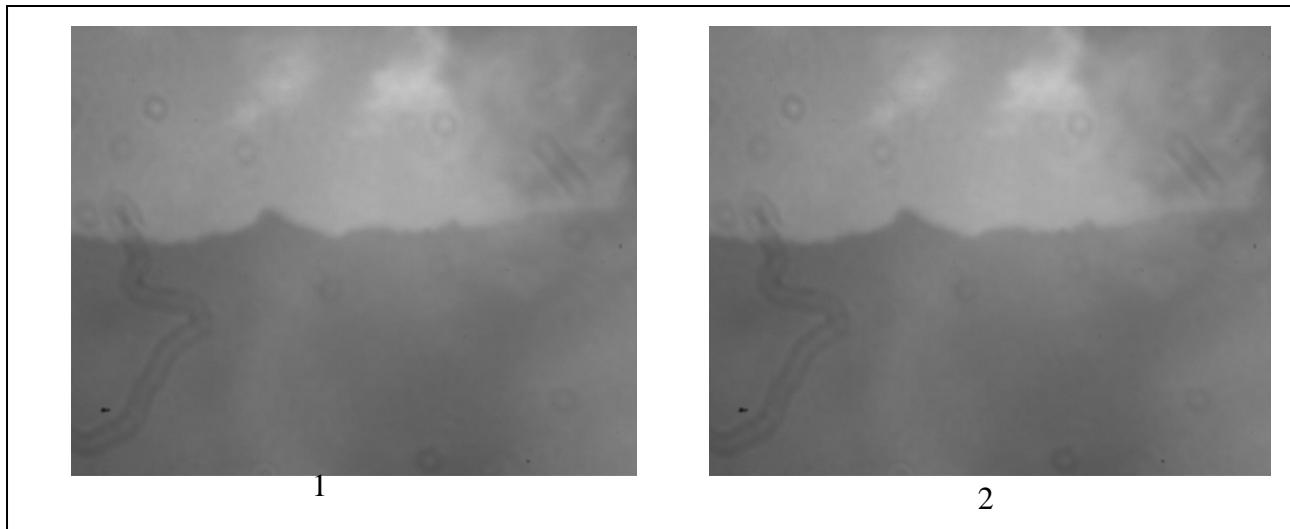


Figura 0.13 – (1) Imagem identificada como focada pelo programa, [imagem nº 118]; (2) Imagem focada escolhida por mim, [imagem nº 118]

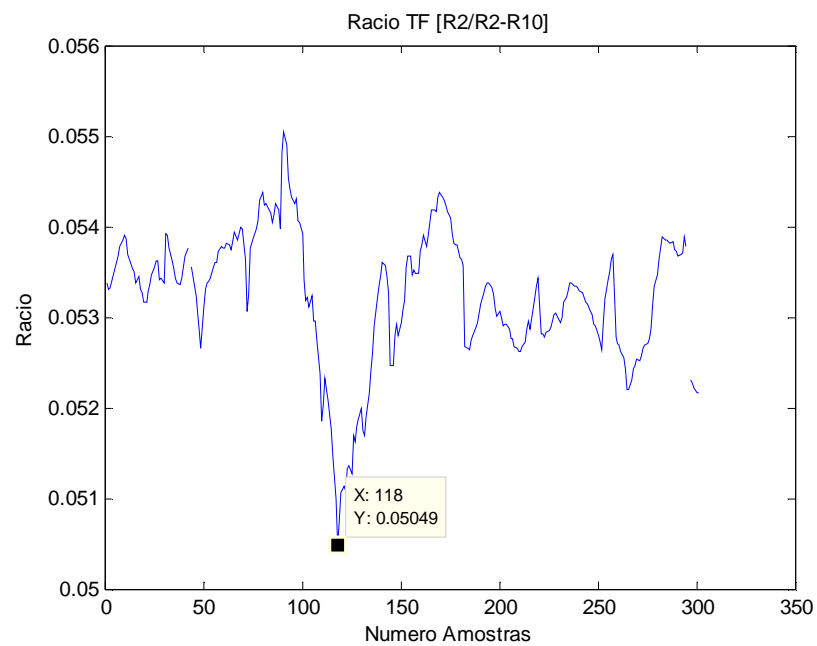


Figura 0.14 - Gráfico referente ao cálculo da imagem focagem, e respectivo índice

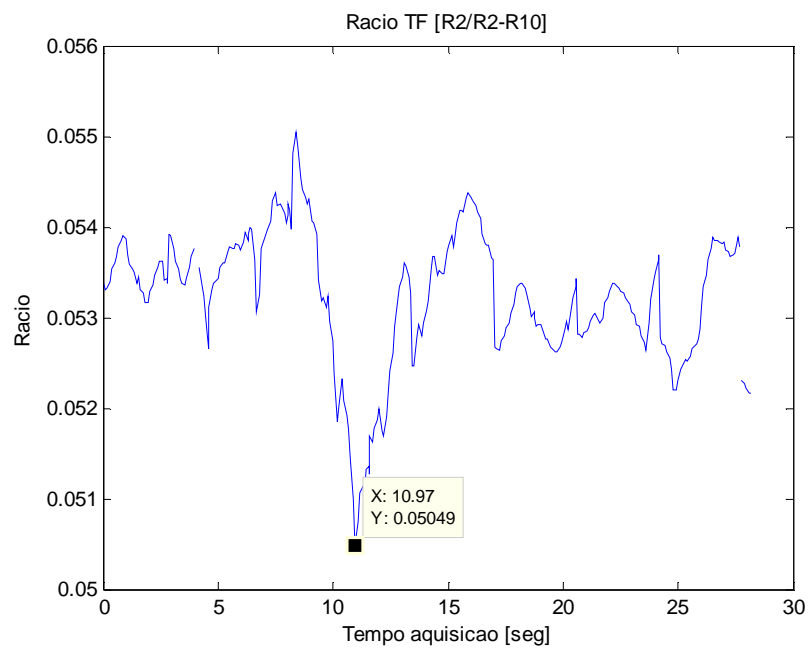


Figura 0.15 - Gráfico referente ao cálculo da imagem focagem, e com respectivo tempo de aquisição

Teste OHP 8

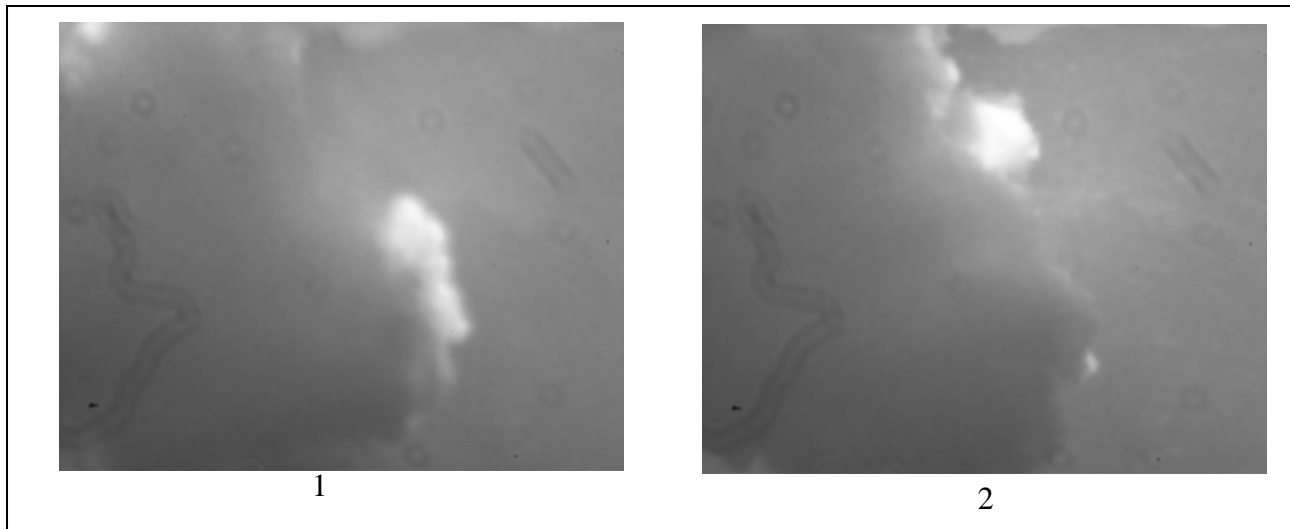


Figura 0.16 – (1) Imagem identificada como focada pelo programa, [imagem n° 130]; (2) Imagem focada escolhida por mim, [imagem n° 128]

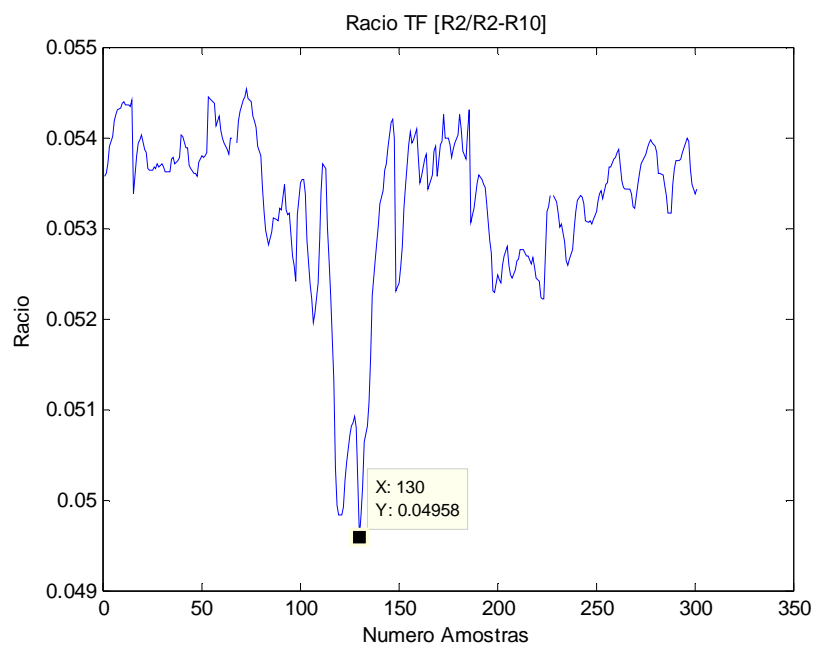


Figura 0.17 - Gráfico referente ao cálculo da imagem focagem, e respectivo índice

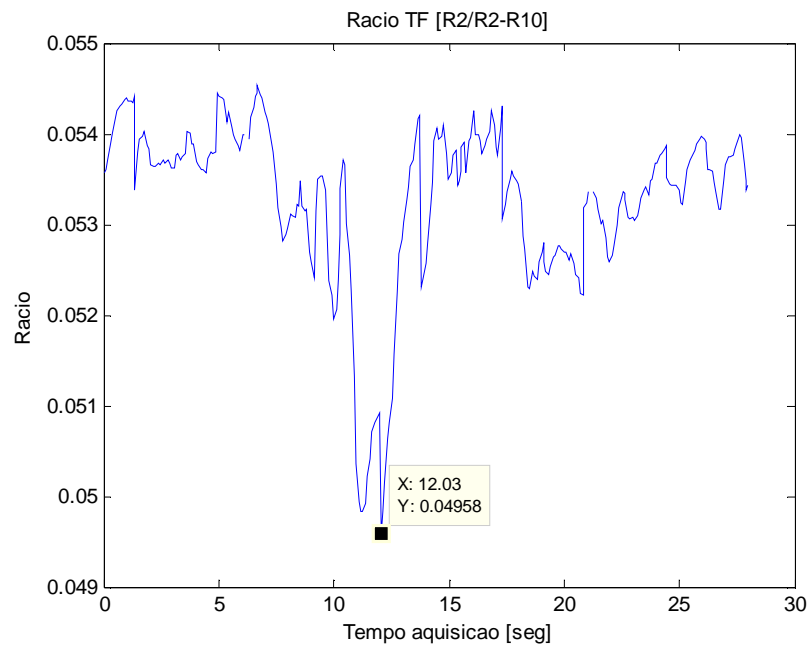


Figura 0.18 - Gráfico referente ao cálculo da imagem focagem, e com respectivo tempo de aquisição

Teste OHP 9

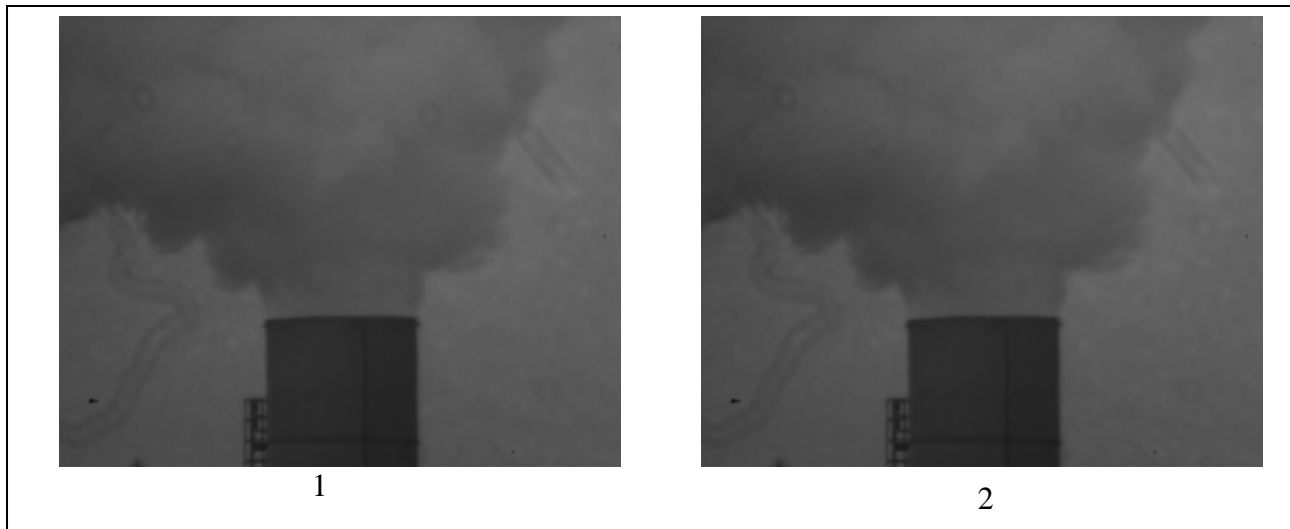


Figura 0.19 – (1) Imagem identificada como focada pelo programa, [imagem nº 130]; (2) Imagem focada escolhida por mim, [imagem nº 130]

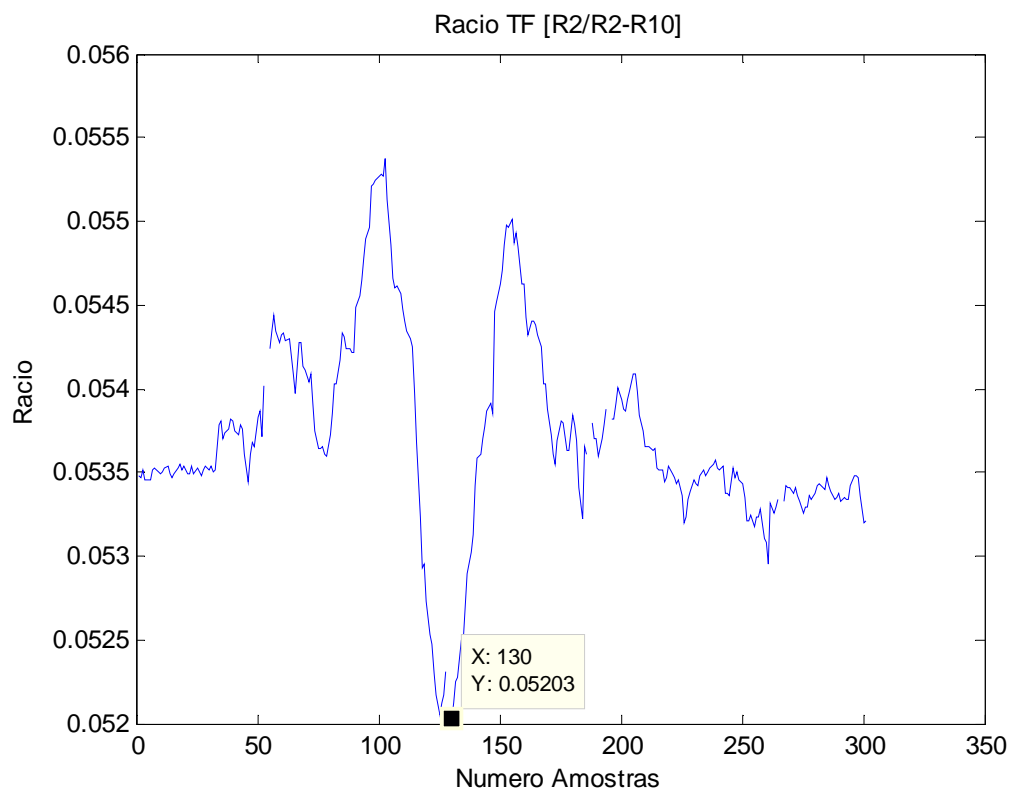


Figura 0.20 - Gráfico referente ao cálculo da imagem focagem, e respectivo índice

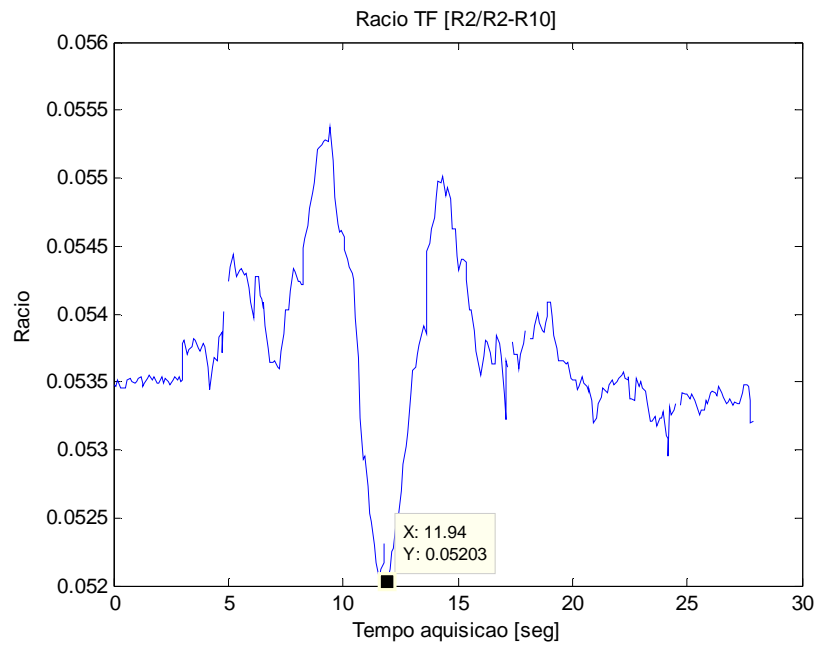


Figura 0.21 - Gráfico referente ao cálculo da imagem focagem, e com respectivo tempo de aquisição

Teste OHP 10

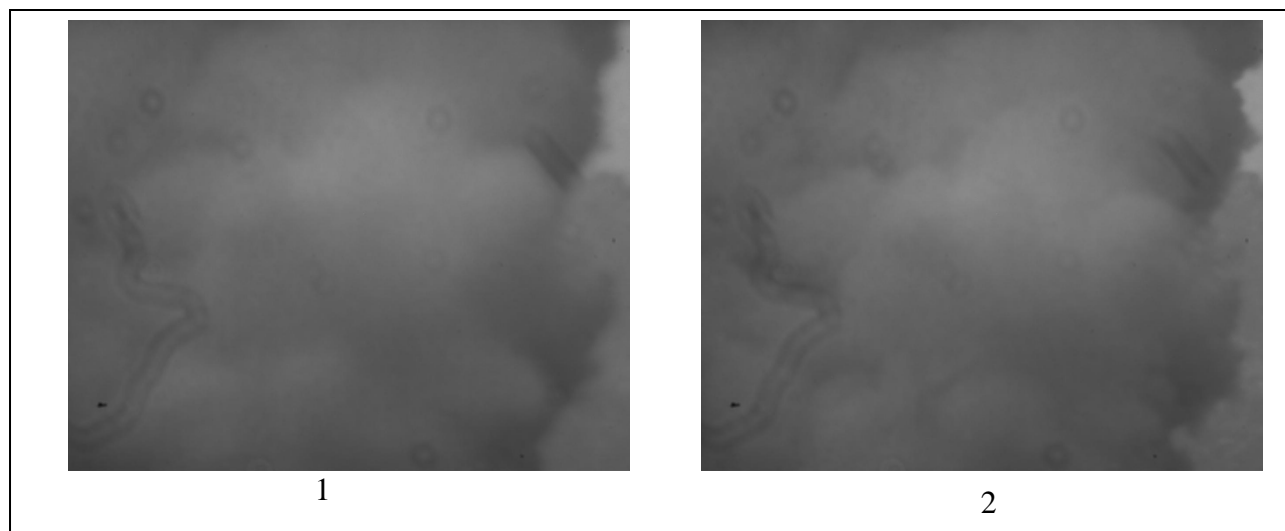


Figura 0.22 – (1) Imagem identificada como focada pelo programa, [imagem nº 117]; (2) Imagem focada escolhida por mim, [imagem nº 117]

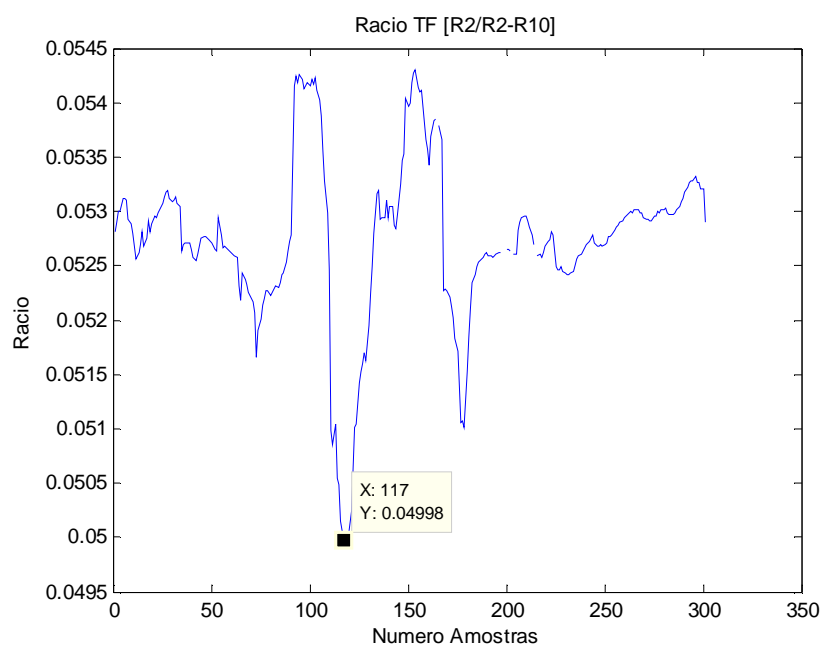


Figura 0.23 - Gráfico referente ao cálculo da imagem focagem, e respectivo índice

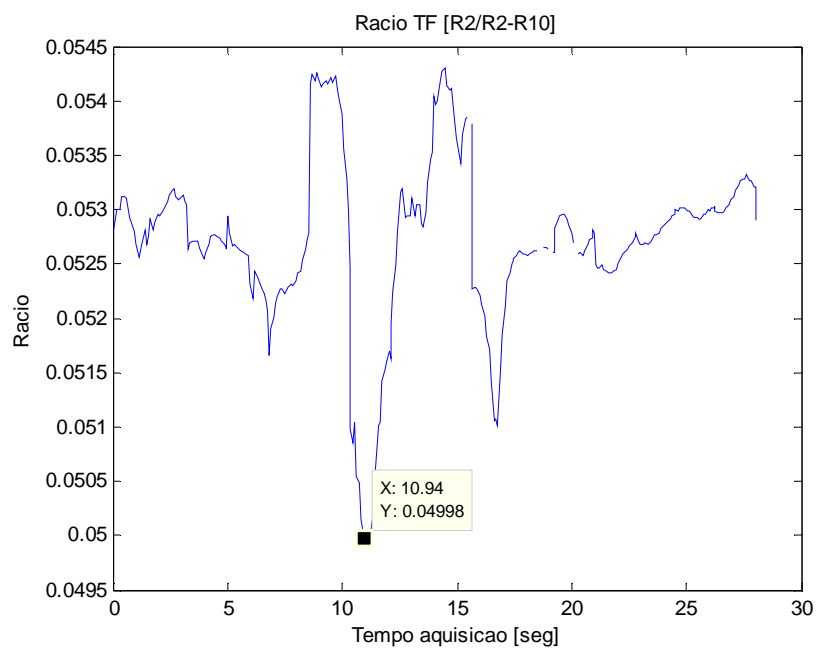


Figura 0.24 - Gráfico referente ao cálculo da imagem focagem, e com respectivo tempo de aquisição

Teste OHP 11

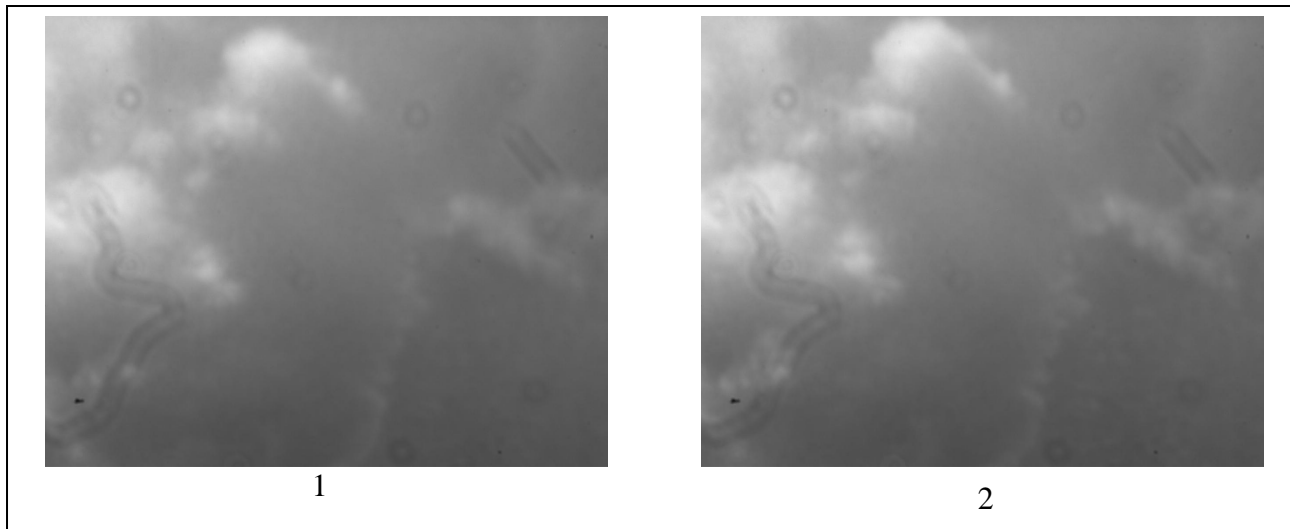


Figura 0.25 – (1) Imagem identificada como focada pelo programa, [imagem nº 132]; (2) Imagem focada escolhida por mim, [imagem nº 132]

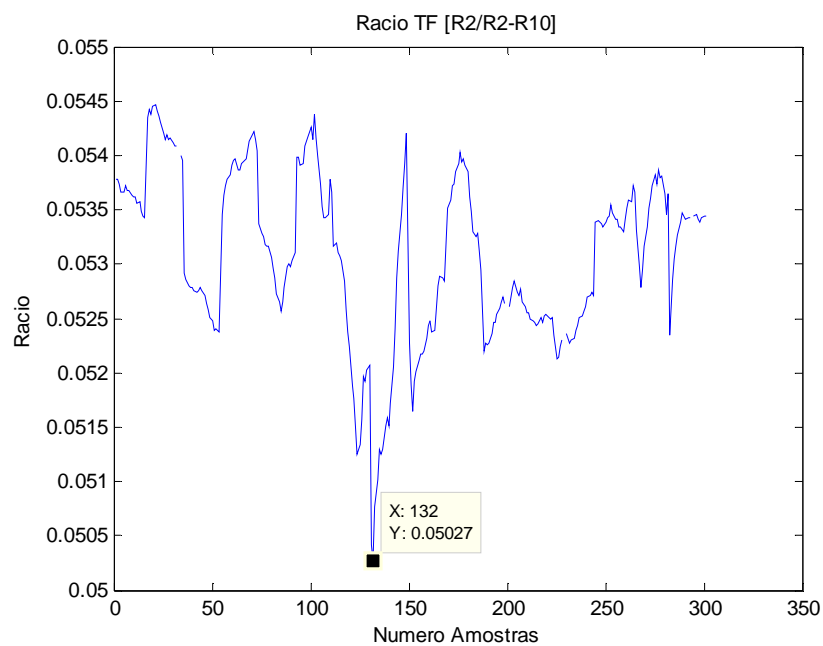


Figura 0.26 - Gráfico referente ao cálculo da imagem focagem, e respectivo índice

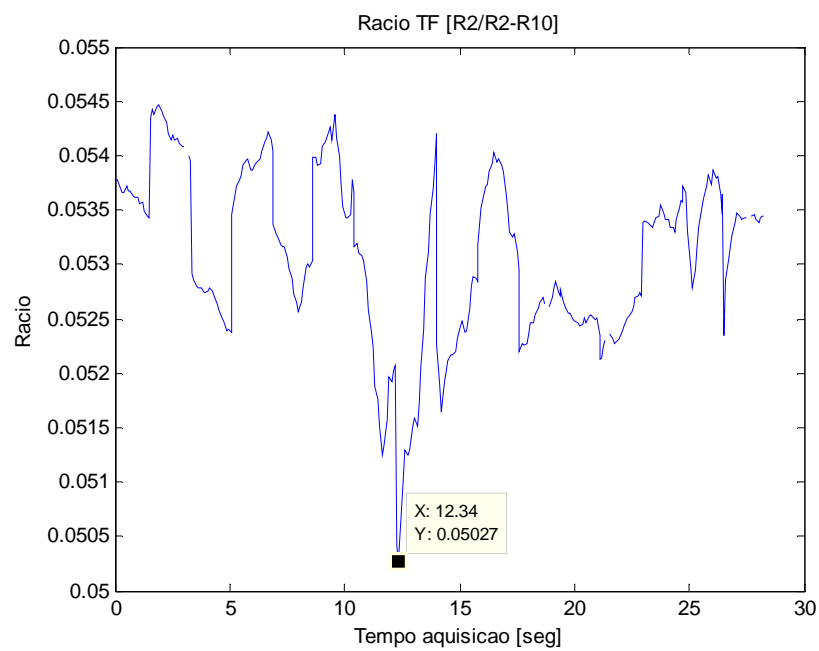


Figura 0.27 - Gráfico referente ao cálculo da imagem focagem, e com respectivo tempo de aquisição

Teste OHP 12

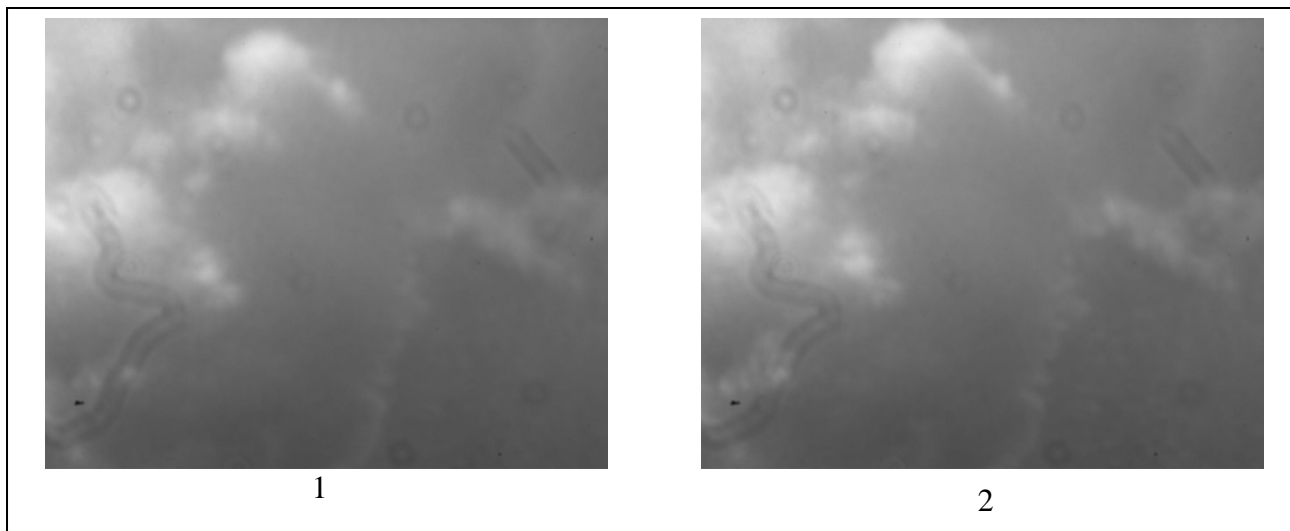


Figura 0.28 – (1) Imagem identificada como focada pelo programa, [imagem n° 135]; (2) Imagem focada escolhida por mim, [imagem n° 131]

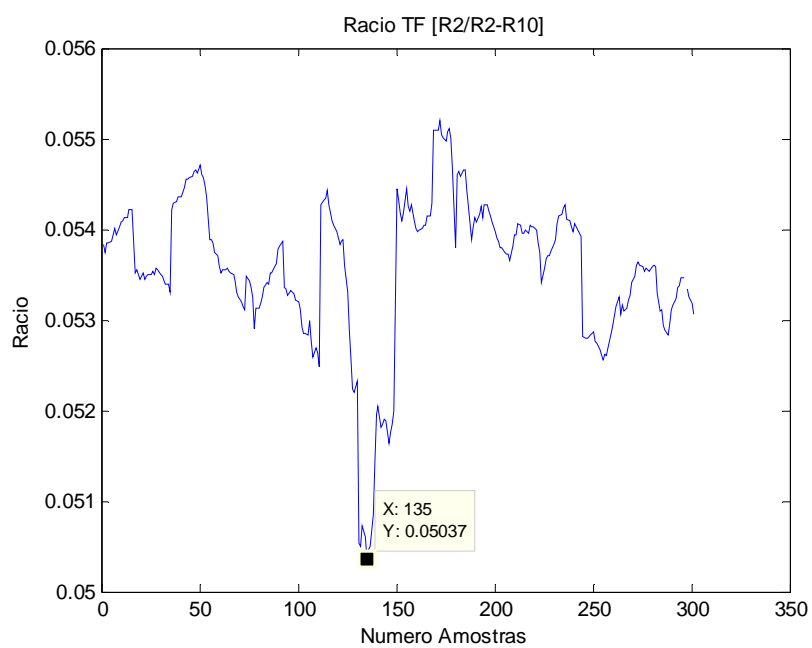


Figura 0.29 - Gráfico referente ao cálculo da imagem focagem, e respectivo índice

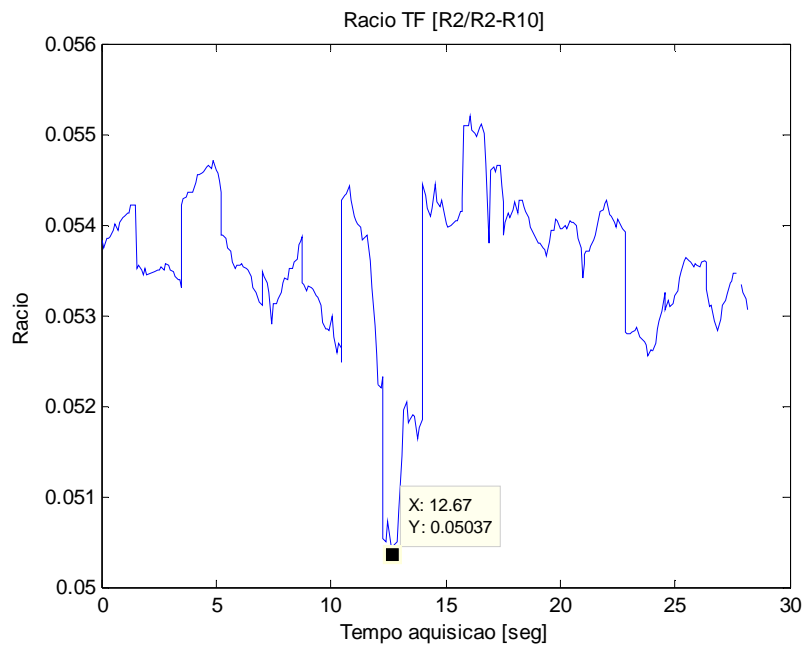


Figura 0.30 - Gráfico referente ao cálculo da imagem focagem, e com respectivo tempo de aquisição

Tabela com dimensões de sensores

Type	1/8"	1/6"	1/4"	1/3.6"	1/3.2"	1/3"	1/2.7"	1/2.5"	1/2.3"	1/2"	1.1.8"	1/1.7"	1/1.6"	2/3"	Super 16mm	1"	4/3"	Canon APS-C	Pentax Sony Nikon DX	Canon APS-H	35mm	Leica S2	Pentax 645D	Kodak KAF 39000 ^[6]	Leaf AFi 10	Phase One P 65+
Diagonal (mm)	2.00	3.00	4.00	5.00	5.68	6.00	6.72	7.18	7.7	8.00	8.93	9.50	10.07	11.0	14.54	16.0	21.6	26.7	28.4	34.5	43.3	54	55	61.3	66.57	67.4
Width (mm)	1.60	2.40	3.20	4.00	4.54	4.80	5.37	5.76	6.16	6.40	7.18	7.60	8.08	8.80	12.52	12.8	17.3	22.2	23.6-7	28.7	36	45	44	49	56	53.9
Height (mm)	1.20	1.80	2.40	3.00	3.42	3.60	4.04	4.29	4.62	4.80	5.32	5.70	6.01	6.60	7.41	9.6	13.0	14.8	15.5-8	19.1	24	30	33	36.8	36	40.4
Area (mm ²)	1.92	4.32	7.68	12.0	15.5	17.3	21.7	24.7	28.5	30.7	38.2	43.3	48.56	58.1	92.8	123	225	329	366-374	548	864	1350	1452	1803	2016	2178
Crop factor ^[7]	21.65	14.14	10.83	8.65	7.61	7.21	6.44	6.02	5.62	5.41	4.84	4.55	4.3	3.93	2.97	2.70	2.00	1.62	1.52	1.26	1.0	0.8	0.79	0.71	0.65	0.64

Tabela Anexo – A coluna a verde é referente às dimensões do sensor da câmara digital ueye.

[Bockaert, Vicente. "Sensor sizes". *Digital photography Review*, 2007]